



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**TUGAS AKHIR - TM 141585**

**STUDI EKSPERIMEN DAN ANALISA LAJU  
KEAUSAN PADA MATERIAL ALTERNATIF  
DENGAN DENGAN PELUMASAN PASTA PADA  
ROTARY VALVE MESIN PEMBUAT PASTA**

Subhan Kemal Azhari  
NRP 2112 106 022

Dosen Pembimbing  
Ir. Yusuf Kaelani, MSc.E.

**JURUSAN TEKNIK MESIN**  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2016



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

FINAL PROJECT - TM 141585

# **EXPERIMENTAL STUDY AND WEAR RATE ANALYSIS MATERIAL ALTERNATIVE WITH PASTE LUBRICATION IN ROTARY VALVE PASTE MACHINE MAKER**

Subhan Kemal Azhari  
NRP 2112 106 022

Adviser Lecturer  
Ir. Yusuf Kaelani, MSc.E.

Mechanical Engineering Department  
Industrial Engineering Faculty  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya 2016

## LEMBAR PENGESAHAN

### **“ STUDI EKSPERIMEN DAN ANALISA LAJU KEAUSAN PADA MATERIAL ALTERNATIF DENGAN PELUMASAN PASTA PADA ROTARY VALVE MESIN PEMBUAT PASTA”**

#### **TUGAS AKHIR**

**Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Mesin  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Oleh :**

**Subhan Kemal Azhari  
NRP. 2112 106 022**

**Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :**

1. Ir. Yusuf Kaelani, MSc.E ..... (Pembimbing)  
NIP : 196511031996021001
2. Dr. Ir. Agus Sigit P., DEA ..... (Penguji I)  
NIP : 196508101991021001
3. Moch.Solichin ST, MT. .... (Penguji II)  
NIP : 2100201405003
4. Ir.Arino Anzip M.Eng.Sc ..... (Penguji III)  
NIP : 196107141988031003

**SURABAYA  
JANUARI , 2016**



# **STUDI EKSPERIMEN DAN ANALISA LAJU KEAUSAN MATERIAL ALTERNATIF DENGAN PELUMASAN PASTA PADA ROTARY VALVE MESIN PEMBUAT PASTA**

**Nama Mahasiswa** : Subhan Kemal Azhari  
**NRP** : 2112106022  
**Jurusan** : Teknik mesin FTI-ITS  
**Dosen Pembimbing** : Ir.Yusuf Kaelani,Msc.E

## **Abstrak**

*Setiap peralatan yang bergerak selalu mengalami kerusakan. Hal ini dikarenakan adanya dua benda yang saling berkontak atau gesekan. Permasalahan yang dialami oleh satu industri adalah sering terjadi kebocoran pada mesin pembuat pasta yaitu pada rotary valve yang sebelumnya sudah pernah dijadikan tugas akhir oleh mahasiswa teknik mesin ITS. Dalam tugas akhirnya tersebut dia merekomendasikan material polytetrafluoroethylene (PTFE) yang memiliki specific wear rate yang jauh lebih baik apabila dibandingkan dengan material yang digunakan sebelumnya yaitu polyoxymethylene (POM). Namun masih ada material – material lain yang bisa jadi material alternative yang diharapkan memiliki life time serta wear rate coefficient yang lebih baik.*

*Langkah-langkah penelitian yang dilakukan adalah sebelum dilakukan pengujian pada mesin tribometer, terlebih dahulu spesimen uji direndam dengan menggunakan pasta gigi pepsodent whitening untuk mengetahui pengaruh pasta terhadap material uji. Setelah direndam, spesimen uji ditimbang dengan menggunakan timbangan digital. Setelah itu dilakukan pengujian dengan menggunakan mesin tribometer dengan menggunakan pembebanan konstan yaitu 8 kg dan 3 variasi kecepatan yaitu pada speed control 50 (38,7 rpm), 60 (44,4 rpm) dan 70 (52,3 rpm). Pengujian dilakukan dengan menggunakan pelumas berupa pasta pepsodent whitening. Sebelum pengujian dimulai, dilakukan*

*penimbangan massa awal spesimen uji yaitu massa setelah spesimen uji direndam dengan pasta gigi dan kalibrasi alat yaitu speed control dan load. Pengulangan pengujian dilakukan sebanyak 3 kali sesuai dengan speed control yang ditetapkan. Setelah pengujian dilakukan foto mikro dan analisa struktur permukaan.*

*Hasil pengujian didapatkan bahawa material alternative Ultra high molecular weight polyethylene ( UHMWPE ) memiliki nilai specific wear rate yang lebih baik dibandingkan material Nylon dimana pada rpm 38,7 UHMWPE memiliki specific wear rate 3x lebih baik daripada Nylon, rpm 44,4 4x lebih baik dan rpm 52,5 10x lebih baik. Nilai specific wear rate juga mempengaruhi life material, dimana pada rpm 38,7 life time UHMWPE 4x lebih baik dari Nylon, pada rpm 44,4 9x lebih baik dan pada rpm 52,3 12x lebih baik*

***Kata kunci : material alternative, lubrikasi, wear rate***

# EXPERIMENTAL STUDY AND WEAR RATE ANALYSIS MATERIAL ALTERNATIVE WITH PASTE LUBRICATION IN ROTARY VALVE PASTA MACHINE MAKER

**Name** : Subhan Kemal Azhari  
**NRP** : 2112106022  
**Department** : Teknik mesin FTI-ITS  
**Advisor lecture** : Ir.Yusuf Kaelani,Msc.E

## *Abstract*

*Any equipment that moves always damaged. This is because the two objects come into contact or rub against each other. Problems experienced by one industry are often leak on machine of pasta makers that is on the rotary valve that has previously been used as a final examination by a student of mechanical engineering ITS. In the final examination she recommended material polytetrafluoroethylene (PTFE), which has a specific wear rate is much better when compared with the previously used material is polyoxymethylene (POM). But there is still others material that could be an alternative material that is expected to have a life time and wear rate coefficient better.*

*Steps before the research is conducted testing on Tribometer machine, first test specimen is immersed by using Pepsodent toothpaste whitening pastes to determine the effect of the test material. After soaking, the test specimens were weighed using a digital scale. After it was examined by using a machine Tribometer with constant loading is 8 kg and 3 variations in speed control the speed of which 50 (38.7 rpm), 60 (44.4 rpm) and 70 (52.3 rpm). Tests carried out using a lubricant such as Pepsodent whitening paste. Before the test begins, weighing is done the initial mass is the mass of the test specimen after the test specimens soaked with toothpaste and calibration tools that speed and load control. Repetition done 3 times in accordance with the*



*speed control set. After testing done micro photo and surface structure analysis.*

*Result of tests on material alternative obtained Ultra high molecular weight polyethylene ( UHMWPE ) has specific wear rate yang much better than Nylon material which in rpm 38,7 UHMWPE has specific wear rate 3x better than Nylon, rpm 44,4 4x better and rpm 52,5 10x better. Specific wear rate also influence material life time, which in rpm 38,7 life time UHMWPE 4x better than Nylon, in rpm 44,4 9x better than rpm 52,3 12x better.*

**Keywords :** *alternative material, lubrication, wear rate*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT Yang Maha Kuasa, yang telah melimpahkan rahmat, rizki dan hidayah-Nya sehingga Tugas Akhir yang berjudul “Studi Eksperimen dan Analisa Laju Keausan pada Material Alternatif dengan Pelumasan Pasta pada *Rotary Valve* Mesin Pembuat Pasta” ini dapat terselesaikan dengan baik.

Laporan Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik (ST) pada Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi 10 Nopember Surabaya. Tak lupa penulis ucapkan terimakasih yang tak terhingga kepada :

1. Bapak Rahman Y. dan Ibu Hazuzara sebagai orang tua terbaik, adek Idham Arif, keluarga yang tak henti-hentinya memberikan cinta, doa dan dukungan kepada penulis.
2. Ir. Yusuf Kaelani, MSc. E., selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah memberikan ilmu serta pengetahuan berharga bagi penulis.
3. Dr.Ir.Agus Sigit P.,DEA, Moch.Solichin ST, MT., serta Ir.Arino Anzip M.Eng.Sc, selaku dosen penguji Tugas Akhir.
4. Bambang Pramujati, ST.,M.Eng.Sc,PhD., selaku Kepala Jurusan Teknik Mesin FTI ITS.
5. Dr. Wiwiek Hendrowati, ST.MT, selaku dosen wali yang tiap semester membantu penulis dengan saran-saran pengambilan mata kuliah.
6. Segenap dosen jurusan Teknik Mesin, terima kasih atas ilmu pengetahuan serta nasihat dan pengalaman yang telah diberikan, semoga Allah membalasnya, Amin..
7. Karyawan Teknik Mesin ITS, khususnya Pak Sarosa, Mas Faisal, Pak Pambudi, Pak Jo, Pak No, Cak To, Cak Bud, yang membantu penulis selama proses Tugas Akhir sampai Yudisium.



8. Serta semua pihak yang tidak dapat penulis cantumkan satu persatu yang telah membantu atas terselesaikannya laporan Tugas Akhir ini.

Sekalipun Tugas Akhir ini selesai melalui proses yang cukup panjang dengan segala keterbatasan kemampuan serta pengetahuan penulis, oleh karena itu penulis berharap kritik dan saran dari berbagai pihak untuk penyempurnaan lebih lanjut.

Besar harapan penulis agar Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Surabaya, Januari 2016

Penulis

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	v
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT.....	ix
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xvi
DAFTAR TABEL.....	xviii
<b>BAB 1 PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
<b>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>5</b>
2.1 Proses Terjadinya Keausan.....	6
2.2 <i>Polyoximethylene (POM) / Polyacetal</i> .....	8
2.2.1 Karakteristik Material POM.....	8
2.3 Material yang direkomendasikan.....	10
2.3.1 <i>Polytetrafluoroethylene (PTFE)</i> .....	10
2.3.2 Sifat Mekanis PTFE.....	11
2.4 Material alternatif.....	12
2.4.1 UHMWPE.....	12
2.4.2 Sifat mekanis UHMWPE.....	12
2.4.3 Nylon.....	14
2.4.4 Sifat mekanis Nilon.....	15
2.5 Stainless Steel 316.....	15
2.5.1 Sifat mekanik dan karakteristik <i>SS 316</i> .....	15
2.6 Kesesuaian kondisi operasi dengan eksperimen.....	17
2.6.1 Persamaan gerak linier.....	17
2.6.2 Distribusi gaya.....	17
2.7 Teori Gesek ( <i>Friction</i> ).....	19
2.8 Keausan ( <i>Wear</i> ).....	25

2.8.1 Pengertian Keausan .....	25
2.8.2 Mekanisme Keausan.....	28
2.9 Alat Uji Keausan Material .....	34
2.9 Pelumas .....	39
<b>BAB 3 METODOLOGI .....</b>	<b>41</b>
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	41
3.2 Langkah-Langkah Penelitian.....	43
3.2.1 Perumusan Masalah Dan Studi Pustaka .....	43
3.2.2 Persiapan Alat Uji Tipe Pin On Disk.....	43
3.2.3 Persiapan Specimen.....	44
3.2.4 Pengambilan Data Penelitian.....	44
3.2.5 Analisa Struktur Permukaan.....	44
3.2.6 Pengolahan Data Penelitian.....	44
3.2.7 Pembuatan Grafik Dan Analisa Hasil Penelitian .....	44
3.2.8 Kesimpulan,Saran,Rekomendasi .....	45
3.3 Langkah Kerja Pengujian .....	46
3.3.1 Studi Pustaka Dan Penentuan Material yang Hendak Diuji.....	47
3.3.2 Persiapan Specimen.....	47
3.3.3 Penimbangan Masa Awal Spesimen.....	50
3.3.4 Perendaman Masing – Masing Pin dengan Pasta Gigi.....	50
3.3.5 Pesiapan Alat Uji Tribometer dan Kalibrasi : <i>Control Speed</i> dan <i>Load</i> .....	50
3.3.6 Penelitian : <i>Pasta Lubrication</i> .....	52
3.3.7 Foto Mikrostruktur Permukaan .....	53
3.3.8 Analisa dan Pembahasan .....	53
3.4 Spesifikasi Peralatan Tribometer.....	54
3.5 Spesifikasi Specimen.....	60
3.5.1 Stainless Steel.....	60
3.5.2 <i>UHMWPE</i> .....	61
3.5.3 nilon.....	61
3.6 Perancangan Eksperimen.....	61
<b>BAB 4.....</b>	<b>63</b>



4.1 Data hasil eksperimen.....	63
4.1.1 Data hasil penimbangan sebelum dan sesudah direndam .....	63
4.1.2 Data perhitungan eksperimen .....	63
4.1.2.1 Nylon.....	63
4.1.2.2 UHMWPE .....	64
4.2 Pembahasan grafik .....	64
4.2.1 Nylon .....	64
4.2.1.1 Analisa pengaruh kecepatan terhadap <i>Specific</i> <i>Wear Rate</i> dengan pembebanan 8 kg.....	64
4.2.1.2 analisa pengaruh kecepatan terhadap <i>Wear</i> <i>Volume</i> denga pembebanan 8 kg.....	66
4.2.1.3 Analisa struktur permukaan setelah percobaan.....	68
4.2.2 UHMWPE .....	71
4.2.2.1 Analisa pengaruh kecepatan terhadap <i>Specific</i> <i>Wear rate</i> dengan pembebanan 8 kg.....	71
4.2.2.2 Analisa pengaruh kecepatan terhadap <i>wear</i> <i>volume</i> dngan pembebanan 8kg .....	72
4.2.2.3 Analisa struktur permukaan setelah percobaan.....	75
4.3 Grafik perbandingan antara Nylon dan UHMWPE .....	77
4.3.1Grafik perbandingan <i>Specific wear rate</i> antara Nylon dan UHMWPE .....	77
4.4 perhitungan umur hidup ( <i>life time</i> ) material uji .....	79
4.5 Grafik perbandingan <i>life time</i> material .....	80
<b>BAB 5.....</b>	<b>85</b>
5.1 Kesimpulan .....	86
5.2 Saran.....	86
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 proses hisap mesin pasta.....	5
Gambar 2.2 proses <i>filling</i> mesin pasta.....	5
Gambar 2.3 komponen rotary valve .....	7
Gambar 2.4 Housing dan sleeve bearing.....	7
Gambar 2.5 daftar kekerasan material .....	17
Gambar 2.6 sketsa percobaan oleh Leonardo.....	20
Gambar 2.7 efek gaya normal pada koefisien gesek .....	21
Gambar 2.8 koefisien gesekan sebagai fungsi gaya normal .....	21
Gambar 2.9 perbandingan Specific wear rate POM dan PTFE .....	22
Gambar 2.10 grafik Specific wear Nylon .....	23
Gambar 2.11 efek luas proyeksi pada koefisien gesek .....	24
Gambar 2.12 koefisien gesekan sebagai fungsi kecepatan .....	25
Gambar 2.13 tiga macam kurve keausan.....	26
Gambar 2.14 specific wear rate .....	27
Gambar 2.15 berbagai macam mekanisme keausan .....	28
Gambar 2.16 pengamatan micrographs keausan adhesive .....	29
Gambar 2.17 mekanisme keausan adesif.....	29
Gambar 2.18 pengamatan micrographs keausan abrasif .....	30
Gambar 2.19 mekanisme keausan abrasive.....	30
Gambar 2.20 pengamatan mikroskopik keausan lelah .....	31
Gambar 2.21 mekanisme keausan lelah .....	31
Gambar 2.22 pengamatan mikroskopik keausan korosif.....	32
Gambar 2.23 mekanisme keausan korosif.....	32
Gambar 2.24 wear resistance dari berbagai jenis polymer .....	33
Gambar 2.25 pin on disk .....	34
Gambar 2.26 <i>Pin on flat reciprocating</i> .....	35
Gambar 2.27 <i>Pin on disk ( edge loaded)</i> .....	35
Gambar 2.28 <i>Thrust Washer (force loaded)</i> .....	36
Gambar 2.29 <i>pin into bushing</i> .....	36
Gambar 2.30 <i>Rectangular Flats on Rotating Cylinder</i> .....	37
Gambar 2.31 <i>crossed cylinder</i> .....	37
Gambar 2.32 <i>Four ball</i> .....	38
Gambar 2.33 alat uji <i>pin on disk</i> .....	38

Gambar 3.1 flowchart penelitian .....	41
Gambar 3.2 flowchart pengujian .....	45
Gambar 3.3 desain pin .....	48
Gambar 3.4 Gambar pin .....	48
Gambar 3.5 desain disk .....	49
Gambar 3.6 Gambar disk .....	49
Gambar 3.7 timbangan digital .....	50
Gambar 3.8 tribometer tipe pin on disk .....	51
Gambar 3.9 hasil kalibrasi pembebanan .....	51
Gambar 3.10 <i>Paste Lubrication Type Pepsodent Whitening</i> .....	52
Gambar 3.11 Mikroskop Optik perbesaran 200 kali .....	53
Gambar 3.12 Tribometer tipe pin on disk .....	56
Gambar 3.13 metal main holder .....	57
Gambar 3.14 casing holder .....	57
Gambar 3.15 casing holder dan komponen penyusun bagian dalam casing .....	57
Gambar 3.16 ulir load adjuster .....	57
Gambar 3.17 ulir penutup casing .....	57
Gambar 3.18 dummy .....	59
Gambar 3.19 pegas .....	60
Gambar 3.20 pencengkram pin .....	60
Gambar 4.1 Grafik <i>specific wear rate</i> terhadap <i>speed</i> .....	65
Gambar 4.2 Grafik <i>wear volume</i> terhadap <i>speed</i> .....	66
Gambar 4.3 Foto mikro Nylon sebelum dan sesudah perendaman .....	66
Gambar 4.4 Foto mikro setelah percobaan Nylon .....	69
Gambar 4.5 Grafik <i>specific wear rate</i> terhadap <i>speed</i> .....	71
Gambar 4.6 grafik hubungan <i>wear volume</i> dengan kecepatan .....	73
Gambar 4.8 Foto mikro sebelum dan sesudah perendaman .....	74
Gambar 4.9 Gambar ilustrasi keausan oksidasi .....	75
Gambar 4.10 Foto mikro setelah pengujian .....	76
Gambar 4.11 grafik perbandingan nilai <i>specific wear rate</i> nylon dan UHMWPE .....	78
Gmabra 4.12 grafik perbandingan Life time material .....	82



## DAFTAR TABEL

3.1 Tabel rancangan eksperimen .....	61
4.1 Data hasil penimbangan sebelum dan sesudah direndam.....	63
4.2 Data hasil pengujian Nylon .....	64
4.3 Data hasil pengujian UHMWPE .....	64
4.4 Data hasil perhitungan umur hidup Nylon .....	81
4.5 Data hasil perhitungan umur hidup UHMWPE.....	81
4.6 Data hasil perhitungan umur hidup POM.....	81

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar belakang

Setiap peralatan yang bergerak selalu mengalami kerusakan. Hal ini dikarenakan adanya dua benda yang saling berkontak atau bergesekan. Masalah utama yang dialami dunia industri selama ini adalah bagaimana cara mengurangi atau mencegah kerugian energy akibat adanya gesekan. Gesekan biasanya didefinisikan sebagai gaya lawan (*opposing force*) yang terjadi bilamana dua permukaan saling bergerak relatif antara satu dengan lainnya. Gesekan yang terjadi ini bisa menimbulkan rusak atau hilangnya partikel dari suatu material yang dinamakan keausan. Keausan terjadi apabila terdapat dua buah benda saling menekan dan saling bergesekan. Keausan terjadi paling besar pada benda – benda lunak. Faktor – faktor yang mempengaruhi keausan adalah kecepatan, tekanan, kekasaran permukaan dan kekerasan bahan.

Salah satu cara untuk mengatasi adanya keausan adalah dengan menghadirkan pelumasan. Pada dasarnya fungsi dari pelumasan adalah mencegah atau mengurangi keausan yang terjadi akibat kontak langsung antara dua permukaan benda yang saling bergerak. Dengan hadirnya pelumasan juga dapat mengurangi besar tenaga yang dihasilkan oleh gaya gesek serta mengurangi panas yang timbul serta dapat memperpanjang *life time* material dan kinerja suatu mesin.

Pada tugas akhir sebelumnya dilakukan penelitian terhadap laju keausan material *polyoxmethylene* (POM) pada mesin pembuat pasta dimana material ini sering terjadi keausan sehingga dilakukan penelitian untuk mengganti material tersebut dengan material *Polytetrafluoroethylene* (PTFE) dan didapat hasil dimana PTFE memiliki *life time* yang lebih baik serta *wear rate coefficient* yang lebih baik dari POM. Namun masih ada material

– material lain yang bisa jadi material alternative yang diharapkan memiliki *life time* serta *wear rate coefficient* yang lebih baik.

Maka dari itu pada tugas akhir ini akan dilakukan penelitian seberapa besar pengaruh pasta terhadap laju keausan (*wear rate*) material – material alternatif pada mesin pembuat pasta dan umur hidup (*life time*) dari mesin pembuat pasta.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas maka dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut :

1. Material apakah yang sekiranya memiliki wear rate yang lebih baik dari *polyoxymethylene* (POM) dan *Polytetrafluoroethylene* (PTFE)?

## 1.3 Batasan Masalah

Agar tujuan dari penulisan tugas akhir ini lebih terarah dan sistematis, maka diperlukan adanya batasan masalah sebagai berikut

1. Tidak membahas struktur mikro material yang diuji
2. Tidak ada kesalahan dalam pemasangan komponen mesin
3. Tidak ada kenaikan temperatur
4. Kekasaran permukaan dianggap sama
5. Tekanan operasional konstan
6. Pasta gigi yang digunakan adalah *pepsodent whitening*
7. Speed control yang digunakan adalah 50, 60, dan 70
8. Beban yang digunakan adalah konstan yaitu 8 kg

## 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah

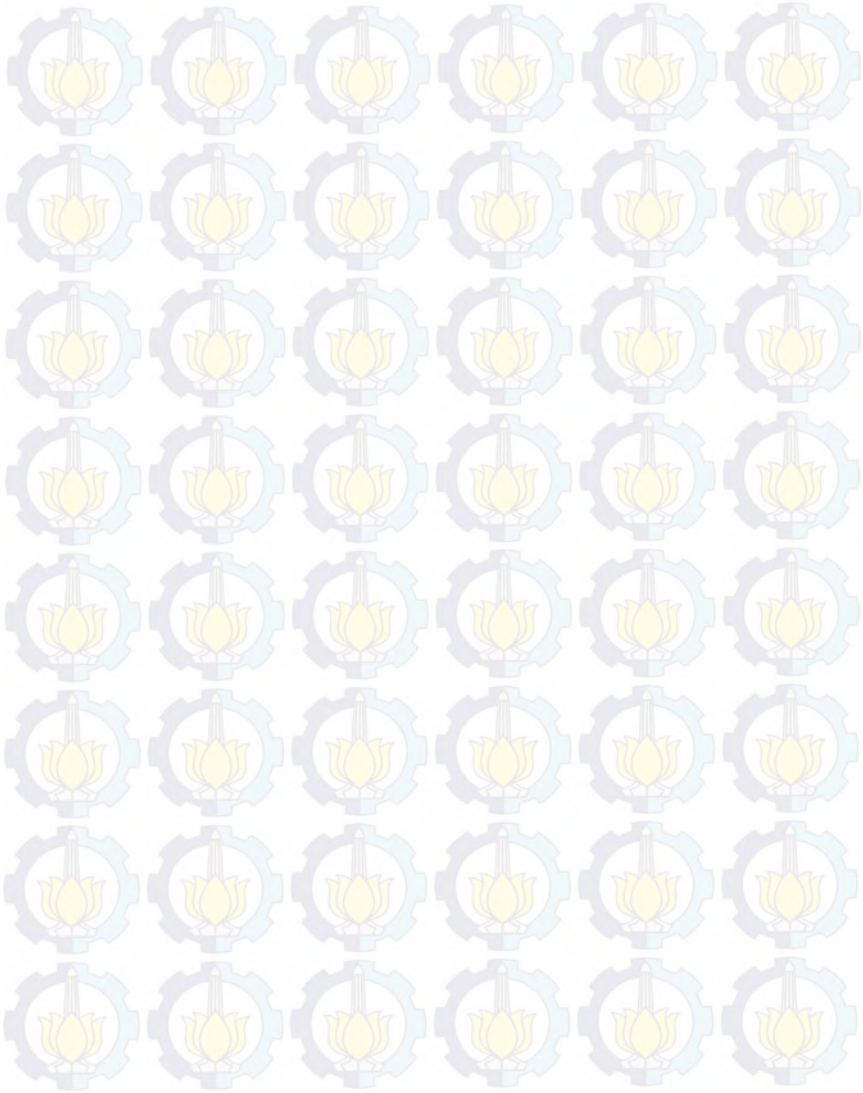


1. Mencari alternative material *polyoxymethylene* (POM) dan *Polytetrafluoroethylene* (PTFE) yang memiliki *wear rate* lebih baik.

### ***1.5 Manfaat penelitian***

Manfaat dalam melakukan penelitian ini adalah sebagai alternatif dalam pemilihan material untuk mesin pembuat pasta. sehingga mesin pembuat pasta dapat beroperasi lebih lama.

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

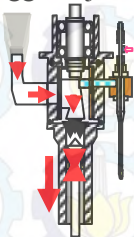


## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Proses Terjadinya Keausan

Pada proses pembuatan pasta, komponen mesin yang sering terjadi keausan adalah pada *rotary valve* pada proses pengisian (*filling*). Proses *Filling* berfungsi untuk memindahkan pasta dari *hoper* ke *tube product*, sedangkan *rotary valve* berfungsi untuk mengarahkan pasta keluar dari *dosing cylinder* lewat pipa *rotary valve* kemudian menuju ke *filling station*. Pada bagian *rotary valve* ini terdapat 2 proses yaitu proses hisap (*sipping*) dan proses pengisian (*filling*). Pada saat proses hisap, penggerak *rotary* menggerakkan lubang saluran pada *rotary valve* dan membuka kearah saluran *hoper* (menutup pada saluran *nozzle*) dan dengan bersamaan piston bergerak turun sehingga pasta terhisap masuk pada *dosing piston*. Lihat gambar 2.1 dan gambar 2.2. Sedangkan pada saat proses pengisian (*filling*), penggerak *rotary* menggerakkan lubang saluran pada *rotary valve* dan membuka kearah saluran *nozzle* (menutup pada saluran *hopper*) dan dengan bersamaan piston bergerak naik , serta stik *nozzle* juga naik sehingga pasta terdorong keluar menuju *nozzle* sehingga terjadi proses pengisian pada *tube*.



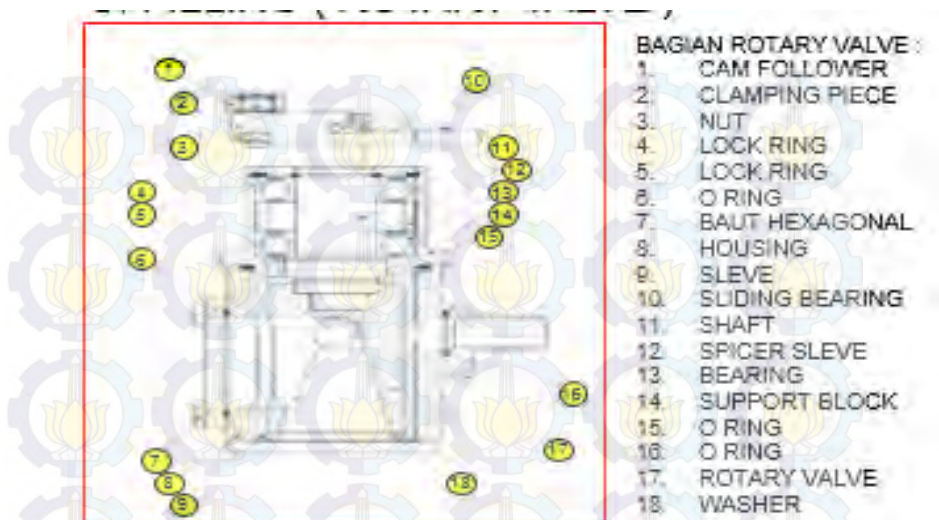
**Gambar 2.1** proses hisap



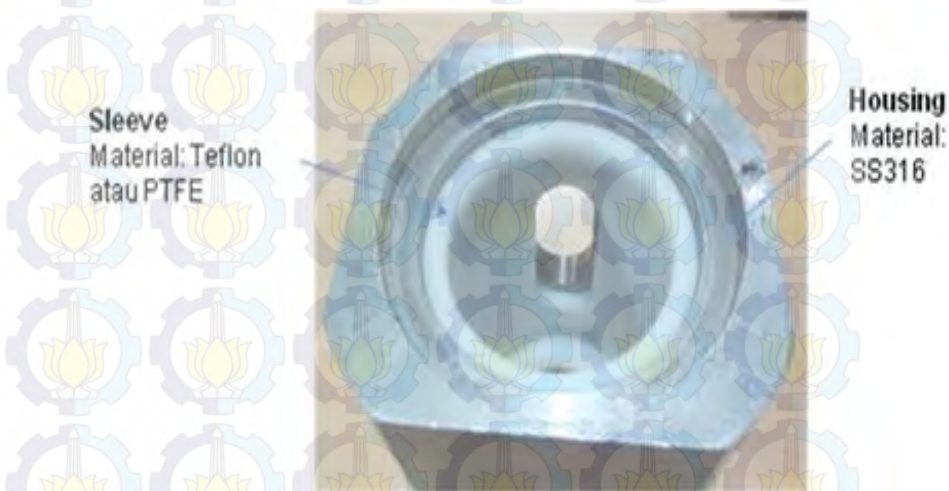
**Gambar 2.2** proses isi



Dari kedua proses di atas, terjadi kontak langsung antara pasta dengan material *Polyoxymethylene* (POM) dengan *stainless steel* SS316 yang sering terjadi keausan. Dimana material *stainless steel* SS316 berfungsi sebagai housing dan material *Polyoxymethylene* (POM) berfungsi sebagai *sleeve bearing*. Selama proses kerja, *Polyoxymethylene* (POM) berputar 90° terhadap *stainless steel* SS316. Gap antara housing dan sleeve bearing didesain dengan gap yang kecil agar tidak terjadi kebocoran sehingga akan menghentikan proses. Komponen mesin dijelaskan pada gambar 2.3 dan 2.4. Namun pada kenyataannya sering terjadi kebocoran pada bagian ini sehingga mengharuskan pergantian *part* tersebut. Proses kebocoran ini dicurigai karena hadirnya pasta yang kontak langsung dengan material *Polyoxymethylene* (POM) dan membuat laju keausan (*wear rate*) semakin cepat. Sudah ada penelitian terkait masalah ini yang dilakukan oleh mahasiswa ITS dalam tugas akhirnya dengan judul “Studi experiment dan analisa keausan jurnal bearing dengan lapisan pasta pada *rotary valve* mesin pembuat pasta” dengan membandingkan material *Polyoxymethylene* (POM) dengan material *Polytetrafluoroethylene* (PTFE) dan dari hasil penelitiannya tersebut didapatkan bahwa material *Polytetrafluoroethylene* (PTFE) memiliki *specific wear rate* yang dan *life time* yang lebih baik dari pada material *Polyoxymethylene* (POM). Namun masih ada material – material lain yang bisa jadi material alternative yang diharapkan memiliki *life time* serta *wear rate specific* yang lebih baik.



Gambar 2.3 komponen *rotary valve*



Gambar 2.4. *Housing dan Sleeve Bearing*

## **2.2 Polyoximethylene (POM) / Polyacetal**

### **2.2.1 Karakteristik Material POM**

*Polyacetal* adalah polimer dengan tingkat kekuatan dan kekakuan yang sangat baik. Stabilitas dimensi yang baik dan ketahanan terhadap gesekan membuatnya sangat cocok untuk digunakan dalam aplikasi bagian-bagian mesin, seperti dalam pembuatan roda gigi, roda dan bushing. Ketahanan terhadap cuaca dan bobotnya yang relatif ringan juga menjadikannya pilihan terbaik sebagai pengganti logam. *Polyacetal* merupakan salah satu polymer *food grade*, sehingga cocok digunakan untuk proses industri yang terjadi kontak langsung dengan makanan atau produk-produk lainnya seperti pepsodent, minyak dan yang lainnya. Kombinasi koefisien gesek rendah, tingkat abrasi yang baik dan kekerasan material, cocok untuk aplikasi-aplikasi yang membutuhkan presisi tinggi. Dapat diaplikasikan pada temperature +100 °C, tahan terhadap *hydrolisis* pada suhu 60 °C. POM, atau polyacetal, merupakan material thermoplastik yang sering digunakan untuk menggantikan beberapa aplikasi-aplikasi metal. Karakteristik utamanya adalah koefisien gesek yang rendah (0.35), tahan aus, dan permukaannya yang keras. Selain itu, POM juga tahan terhadap cairan basa, bensin, alkohol, dan pelumas. Nilai ketahanan elastis E-modulus of elasticity (E-modul) yang cukup tinggi mencapai 2600 MPa dan kekerasan permukaan yang cukup (notch impact strenght) membuat POM lebih ulet tahan menerima gaya tekan dan Tarik. Tingkat penyerapan air yang sangat rendah hanya 0.2 %, juga memberi kelebihan tersendiri bagi POM membuat stabilitas dimensi selalu terjaga. Kombinasi optimal dari tingginya tegangan tarik 63 MPa, tingginya tingkat kelicinan, kekerasan permukaan dan tegangan ikatan antar molekul yang optimal menjadikan POM sangat cocok dan disarankan pada aplikasi yang menuntut kestabilan dimensi,



ketelitian tinggi seperti contoh aplikasi *parts* mesin bergeometri kompleks dan rumit yang menuntut kestabilan dan presisi tinggi.

Ada 2 tipe *polyacetal* yaitu homopolimer dan kopolimer. *Acetal*/homopolimer merupakan polimer kristalin yang dibuat dari formaldehida. Resin ini secara teknis disebut polioksi metilena (POM). Asetal homopolimer dapat dicampur dengan aditif seperti : antioksidan, pelumas, filler, pewarna, UV stabilizer, dll. Resin ini aslinya berwarna putih buram. Sifat-sifat umum resin asetat adalah:

1. **Strength**

Tanpa adanya modifikasi, resin ini mempunyai kekuatan tarik, kekuatan kompresi dan ketahanan gesek yang tinggi. Resin ini halus dan deformasinya rendah jika diberi beban. Resin ini mempunyai batas leleh bengkokan (*flexural fatigue*) yang tinggi sehingga baik digunakan sebagai bahan baku pegas.

2. **Toughness**

Resin ini umumnya liat, tahan pukul meskipun pada suhu rendah, kemulurannya pada suhu kamar mencapai 12% dan pada suhu yang lebih tinggi mencapai 18%.

3. **Thermal**

Titik leleh homopolimer asetat lebih rendah daripada *engineering thermoplastic* lainnya.

4. **Elektrikal**

Sifat elektrikalnya dipengaruhi oleh kandungan uap air. Konstanta dielektrikalnya bervariasi dari frekuensi 102-106 Hz, dan *dielectric strength*-nya tinggi.

5. **Chemical**

Tahan terhadap bermacam-macam pelarut, eter, minyak pelumas, minyak, bensin, bahan bakar dari metanol, dll.

6. **Friksi/umur pakai**

Sifat pakai dan friksi baik karena permukaannya lebih keras dan koefisien gesekannya rendah.

## 2.3 Material yang direkomendasikan

### 2.3.1 *Polytetrafluoroethylene* (PTFE)

*Polytetrafluoroethylene* (PTFE) berasal dari bahan dasar fluorocarbon solid, karena berat molekul senyawa seluruhnya terdiri dari karbon dan *fluor*. Struktur molekul Teflon adalah berupa rantai atom karbon yang panjang, mirip dengan polymer lainnya. Rantai atom yang panjang ini dikelilingi oleh atom *fluor*. Ikatan antara atom karbon dengan *fluor* sangat kuat. Karbon terdapat di dalam semua makhluk hidup dan merupakan dasar kimia organik. Unsur ini juga memiliki keunikan dalam kemampuannya untuk membentuk ikatan kimia dengan sesama karbon maupun banyak jenis unsur lain, membentuk hamper 10 juta jenis senyawa yang diketahui. Unsur ini adalah unsure yang paling stabil diantara unsur – unsur yang lain.

Fluor adalah unsur yang paling elektronegatif dan reaktif bila dibandingkan dengan semua unsure. Berwarna kuning pucat , gas korosif, yang bereaksi dengan banyak senyawa organik dan anorganik , seperti logam, kaca, keramik, karbon, bahkan air terbakar dalam *fluor* dengan nyala yang terang. *Fluor* sangat reaktif sehingga jarang ditemukan dalam keadaan bebas, *fluor* biasa dijumpai berikatan dengan unsur – unsur yang lain.

Pada proses pembuatan Teflon digunakan zat kimia lain bernama *Perfluorooctanoic acid* (PFOA atau C8) yang merupakan garam ammonia. Zat ini digunakan sebagai surfaktan dalam *emulasi polimer* PTFE. Karena itu zat kimia pada lapisan anti lengket mengandung berbagai logam yang berbahaya seperti merkuri dan zat PFOA yang bersifat karsinogen.

Teflon juga merupakan bahan sintetik yang sangat kuat umumnya berwarna putih. Teflon tahan terhadap panas sampai kira – kira 250° C, dan di atas 250° C Teflon mulai melunak, di dalam api akan meleleh dan sulit jadi arang. Berat jenisnya kira – kira 2,2g/cml. Teflon tidak tahan terhadap larutan alkali hidroksida dan hidrokarbon yang mengandung khlor. Material PTFE pada dasarnya adalah sebuah bentuk *tetrafluoroetelina*

*dipolemerisasi* (TFE), yang merupakan senyawa yang dapat diciptakan melalui kombinasi kloroform, asam klorida, dan *fluorspar*. Zat kimia ini ditempatkan dalam ruang reaksi dipanaskan sampai antara 1000 dan 1700 derajat Fahrenheit, kemudian didinginkan dan dimurnikan untuk menghilangkan kontaminan. Pada tahap awal, PTFE adalah gas beracun tidak berbau dan biasanya bertekanan dan disimpan dalam keadaan cair sebelum produksi Teflon dapat dimulai. TFE sangat mudah terbakar, terutama dalam bentuk gas, sehingga beberapa produsen PTFE memproduksi *on-site* untuk menghindari potensi resiko yang terlibat dalam pengangkutan ke fasilitas terpisah.

### 2.3.2 Sifat Mekanik *Polytetrafluoroethylene* (PTFE)

Beberapa sifat mekanik yang ada pada bahan Teflon antara lain sebagai berikut :

- 1) Kekuatan (*strength*) dan ketangguhan (*toughness*)
  - a. Sifat sintetisnya sangat kuat
    - Tahan panas dari 100 sampai 200° C
    - Tidak bisa menjadi arang ketika dibakar
  - b. Memiliki titik leleh 342° C
  - c. Tidak tahan terhadap alkali hidroksida dan kurang tahan dengan hidrokarbon yang mengandung khlor.
  - d. Tahan akan gesekan.
  - e. Tahan akan kimia kecuali alkali hidroksida dan hidrokarbon yang mengandung khlor.
  - f. Tahan terhadap uap air.
- 2) Memiliki resistivitas atau hambatan listrik yang besar.
- 3) Kekerasan (*thoughness*)
 

Karena Teflon termasuk bahan penyekat bentuk padat maka Teflon memiliki kekerasan yang tinggi.
- 4) Elastisitas
 

Karena Teflon merupakan bahan penyekat bentuk padat maka Teflon memiliki kemampuan elastisitas yang rendah.



PTFE memiliki titik lebur yang relative tinggi ( dikarenakan oleh kekuatan gaya tarik antara rantai – rantainya) dan sangat resisten terhadap serangan kimia. Rantai karbon begitu melekat pada atom – atom *fluorin* sehingga tidak ada yang bisa mencapainya untuk bereaksi dengannya. Ini bermanfaat dalam industry kimia dan dalam industri makanan untuk melapisi wadah dan membuat wadah – wadah tersebut kebal terhadap hampir segala sesuatu yang dapat membuatnya korosi.

## 2.4 Material Alternatif

### 2.4.1 *Ultra high molecular weight polyethylene* ( UHMWPE )

*Ultra high molecular weight polyethylene* (UHMWPE) adalah jenis poliolefin. UHMWPE terdiri dari rantai yang sangat panjang dari *polyethylene*, yang semuanya terusun dengan arah yang sama. Sebagian besar kekuatannya diperoleh dari panjang setiap individu molekul yang menyerupai rantai. Namun ikatan antara molekul relatif lemah karena setiap atom saling tumpang tindih antara molekul - molekul , tetapi karena molekul – molekul tersebut sangat panjang, tumpang tindih tersebut bisa bertahan sehingga menambahkan kemampuan *wear resistance* yang lebih besar .

Poliolefin adalah salah satu dari kelas polimer yang dihasilkan dari olefin sederhana (juga disebut alkana dengan rumus umum  $C_nH_{2n}$ ) sebagai monomer. Misalnya, polietilena yang dihasilkan oleh polimerisasi etilena olefin. *Polypropylene* adalah poliolefin lain yang terbuat dari propilena olefin.

Dalam pembuatannya *Ultra high molecular weight polyethylene* (UHMWPE) disintesis dari monomer etilen, yang terikat bersama untuk membentuk produk dasar *polyethylene*. UHMWPE ini memiliki molekul lebih banyak dari jenis *polyethylene* lain karena proses sintesis berdasarkan katalis metalosena, sehingga molekul UHMWPE biasanya memiliki 100.000 menjadi 250.000 unit monomer per molekul. UHMWPE diproses dengan berbagai cara yaitu pencetakan kompresi, ram

ekstrusi, (*spinning gel*) gel berputar, dan sintering. Beberapa perusahaan Eropa mulai melakukan kompresi molding UHMWP di awal 1960-an. Dalam *spinning gel* (gel berputar) gel UHMWPE yang panas diekstrusi melalui pemintal. Ekstrudat diambil melalui udara dan kemudian didinginkan dalam bak air. Hasil akhir adalah serat molekul tingkat tinggi. Spinning gel (gel berputar) tergantung pada molekul rantai individu yang terisolasi dalam pelarut sehingga keterlibatan antarmolekul dapat diminimalkan.

#### **2.4.2 Sifat mekanis *Ultra high molecular weight polyethylene* ( UHMWPE )**

Beberapa sifat mekanis yang ada pada material *Ultra high molecular weight polyethylene* ( UHMWPE ) antara lain sebagai berikut :

- 1) Kekuatan (*strength*) dan ketangguhan (*toughness*)
  - a. Sifat sintetisnya sangat kuat
    - Tahan panas dari 70 sampai 95° C
    - Tidak bisa menjadi arang ketika dibakar
  - b. Memiliki titik leleh 135° C
  - c. Tahan akan gesekan.
  - d. Tahan terhadap uap air.
- 2) Memiliki resistivitas atau hambatan listrik yang besar.
- 3) Kekerasan (*thouhness*)
 

Karena material UHMWPE diaplikasikan untuk bahan material bagian yang bergerak dari mesin pemutar, roda gigi, penyambung, pelindung sisi luar, bahan anti peluru sehingga UHMWPE memiliki kekerasan yang sangat baik.
- 4) Elastisitas
 

Karena UHMWPE merupakan bahan penyekat bentuk padat maka UHMWPE memiliki kemampuan elastisitas yang rendah.

### 2.4.3 Nylon

Nylon adalah kopolimer kondensasi dibentuk dengan mereaksikan bagian yang sama dari sebuah diamina dan asam dikarasilat, sehingga amida yang terbentuk pada kedua ujung masing – masing monomer dalam proses analog dengan polipeptida biopolymer. Elemen kimia termasuk adalah karbon, hidrogen, nitrogen, dan oksigen. Akhirnya numeric menentukan jumlah karbon yang disumbangkan oleh monomer – monomer, sedangkan diamina pertama dan kedua acid.

Reaksi Pembuatan Nilon Polimer kondensasi terjadi dari reaksi antara gugus fungsi pada monomer yang sama atau monomer yang berbeda. Dalam polimerisasi kondensasi kadang-kadang disertai dengan terbentuknya molekul kecil seperti  $H_2O$ ,  $NH_3$ , atau  $HCl$ . Di dalam jenis reaksi polimerisasi yang kedua ini, monomer-monomer bereaksi secara adisi untuk membentuk rantai. Namun demikian, setiap ikatan baru yang dibentuk akan bersamaan dengan dihasilkannya suatu molekul kecil – biasanya air – dari atom-atom monomer. Pada reaksi semacam ini, tiap monomer harus mempunyai dua gugus fungsional sehingga dapat menambahkan pada tiap ujung ke unit lainnya dari rantai tersebut. Jenis reaksi polimerisasi ini disebut reaksi kondensasi. Dalam polimerisasi kondensasi, suatu atom hidrogen dari satu ujung monomer bergabung dengan gugus-OH dari ujung monomer yang lainnya untuk membentuk air

Ada dua macam tipe nylon yang biasa kita temukan di pasaran yaitu pertama nylon 6-6 yang merupakan bahan sintetik serbaguna yang dapat dibentuk menjadi serat lembaran, filament atau bulu. Sebagai contoh, baik filament nylon 6 yang digunakandalam pembuatan kaos kaki, rajutan pakaian, parasut dan dapat digunakan dalam produksi cetak seperti skate board dan frame pistol. Yang kedua adalah nylon 101 yang biasa digunakan untuk bagian – bagian mekanik seperti bushing dan bearings, gear, pulley, dan konveyor. Nylon 101 juga memiliki *wear*



*resistance* yang jauh lebih baik, lebih rigid, dan lebih kuat. ([www.alro.com](http://www.alro.com))

#### 2.4.4 Sifat mekanis nylon

Beberapa sifat mekanis yang ada pada material nylon

- 1) Kekuatan (*strength*) dan ketangguhan (*toughness*)
  - a. Sifat sintetisnya sangat kuat
    - Tahan panas dari 80 sampai 98,8° C
    - Tidak bisa menjadi arang ketika dibakar
  - b. Memiliki titik leleh 260° C
  - c. Tahan akan gesekan.
  - d. Tahan terhadap jamur, serangga, serta bahan kimia.
- 2) Memiliki resistivitas atau hambatan listrik yang baik.
- 3) Memiliki kekerasan (*hardness*) rockwell M sebesar 85.

### 2.5 Stainless Steel Aisi 316

#### 2.5.1 Sifat mekanik dan karakteristik *Stainless Steel* Aisi 316

*Stainless Steel* adalah logam paduan dari beberapa unsure logam dengan komposisi tertentu. Sehingga didapatkan sifat baru dari logam tersebut yang lebih kuat, lebih tahan terhadap korosif, dan sifat unggul lainnya. *Stainless steel* terbagi menjadi beberapa *grade* berdasarkan struktur metalurginya. Khusus untuk aplikasi dalam pembuatan pengolahan makanan, biasanya digunakan jenis *Stainless steel food grade* ( SS 304, SS 316 ). Grade 316 selain disebut sebagai *food grade* , juga dikenal sebagai *Marine Grade*, daya tahan korosifnya lebih baik dari grade 304, dan memiliki daya tahan terhadap korosi air garam dan harganya lumayan mahal dari pada grade 304.

SS 316 mengandung 16% chromium, 10% nickel dan 2% molybdenum. Penambahan molybdenum ini untuk membantu daya tahan terhadap korosi pada lingkungan khlorida ( air laut / air garam ). Grade 316 juga diperlukan untuk keadaan khusus seperti resistensi tinggi terhadap korosi pitting dan celah ( *pitting* dan *crevice corrosion* ) dan juga lingkungan khlorida.

Penggunaan alat pengolah makanan yang terbuat dari logam tahan karat (*stainless steel*) *food grade* sudah menjadi kebutuhan bagi industry pengolah makanan. Hal ini dilakukan agar kualitas produk makanan atau minuman yang dihasilkan tetap terjaga dan aman bagi kesehatan konsumen.

Berikut beberapa alasan perlunya penggunaan plat *stainless steel food grade* pada pengolah makanan dan minuman yaitu :

1. Untuk menghindari kontaminasi kimia baja terhadap produk makanan.

Dengan memilih tipe *stainless steel* yang tepat, maka hampir tidak ada kontaminasi bahan kimia logam terhadap produk pengolah makanan, seperti perubahan warna dan rasa. Biasanya grade yang tepat untuk produk makanan dan minuman adalah grade SS 304 dan SS 316

2. Mudah dibersihkan, anti korosif, dan tahan terhadap bakteri

Pada *hi-grade stainless steel* mudah dibersihkan dari kontaminasi luar karena memiliki permukaan yang halus. Sifat keras dan ketahanan impak baja tahan karat juga memberikan dampak positif saat proses pembersihan dilakukan. Ketahanan terhadap korosi yang tinggi memudahkan pengguna dapat membersihkan dengan pembersih dan disinfektan yang tergolong korosif.

3. Sifat mekanik yang cukup baik secara keseluruhan

Kekuatan, ketahanan, dan ketahanan abrasi yang tinggi pada baja tahan karat ( *stainless steel* ) austenitic nilai positif dalam penggunaan untuk aplikasi di industri makanan dan minuman.

Untuk percobaan kali ini keausan pada material *stainless steel* 316 kita anggap tidak ada karena nilai kekerasan dari material *stainless steel* sendiri adalah *vicker hardness* 3,8 Gpa

dimana kekerasan ini tertinggi diantara kedua material yang kita uji yaitu Nylon dan UHMWPE . Berikut gambar 2.5 menunjukan kekerasan beberapa polymer terhadap SS 316.

Spesimen	Vicker Hardness (Gpa )
UHMWPE	0,0628
Nylon	0,05
PTFE	0,0579
POM	0,143
HDPE	0,075
PVC	0,122
SS 316	3,8

**Gambar 2.5** daftar kekerasan material ( matweb.com)

sehingga secara teori apabila dua material saling kontak maka material yang akan tergerus adalah material yang memiliki kekerasan yang lebih lunak sehingga keausan pada SS 316 tidak kita pertimbangkan. Dan apabila kita pertimbangkan pun kemungkinan kita tidak dapat mengukur masa yang berkurang karena sangat kecil sekali dan alat yang kita punya pun memiliki keterbatasan .

## **2.6 Kesesuaian kondisi operasi dengan eksperimen**

### **2.6.1 persamaan gerak linier**



Untuk menyamakan kondisi operasi pada mesin pembuatan pasta dengan percobaan yang ada di laboratorium, maka digunakan persamaan kecepatan linier. Dimana kecepatan pada mesin adalah 44 rpm. Dari kecepatan mesin didapat kecepatan sudut :

$$\omega = 44 \text{ rpm} \times \frac{2\pi}{60} = 4,605 \frac{\text{rad}}{\text{sec}} \quad (2.1)$$

Dari kecepatan sudut di atas dapat dicari kecepatan linier yang nantinya akan digunakan saat percobaan yaitu :

$$V_R = r \times \omega_1 \quad (2.2)$$

Dimana :

$r$  : jari – jari material

$\omega_1$  : kecepatan rotational mesin pembuat pasta (rad/sec)

Diketahui :  $r = 50 \text{ mm} = 0,05 \text{ m}$

$\omega_1 = 4,605 \text{ rad/sec}$

Sehingga :  $V_R = 0,05 \text{ m} \times 4,605 \text{ rad/sec}$   
 $= 0,23025 \text{ m/sec}$

### 2.6.2 Distribusi Gaya

Gaya (F) yang terdistribusi pada journal bearing dapat diketahui dari tekanan radial yang terjadi pada proses hisap.

Dimana tekanan (K) =  $0,05 \text{ bar} = 5000 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$ .

Rumus tekanan radial berdasarkan slide ajar chris Muhammad Universitas Malang dengan judul *Machine design : Bearing* adalah :

$$K = \frac{P_o}{l_o \cdot d_o} \quad (2.3)$$

Dimana :

K = tekanan radial (data perusahaan)

$l_o$  = panjang bantalan ( data perusahaan )

$d_o$  = diameter bantalan ( data perusahaan )

$P_o$  = gaya radial

Diketahui :

$$K = 5000 \frac{N}{m^2}$$

$$l_o = 0,15 \text{ m}$$

$$d_o = 0.105 \text{ m}$$

Sehingga mencari gaya radial adalah dari persamaan (2.3) menjadi  $P_o = K \times l_o \times d_o$

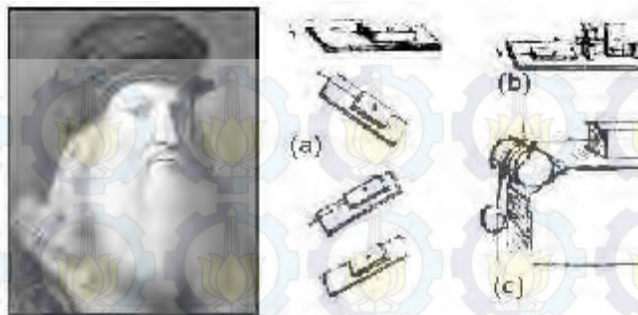
$$P_o = 5000 \frac{N}{m^2} \times 0,15 \text{ m} \times 0.105 \text{ m}$$

$$P_o = 78,75 \text{ N}$$

Gaya radial ini dikonversi menjadi kg = 8.03 kg

## 2.7 teori gesekan ( *friction* )

Leonardo Da Vinci ( 1452 – 1519) adalah orang pertama yang melakukan studi kuantitatif pada masalah gesekan. Eksperimen yang dilakukan adalah meletakkan balok pada bidang datar dan memberikan beban yang digantungkan untuk membuat balok tersebut sliding seperti ditunjukkan pada gambar 2.6 berikut ini



**Gambar 2.6** sketsa percobaan gesekan oleh Leonardo Da Vinci  
(a) Balok (b) balok pada bidang datar (c) Balok pada bidang miring (*Wikipedia.org*)

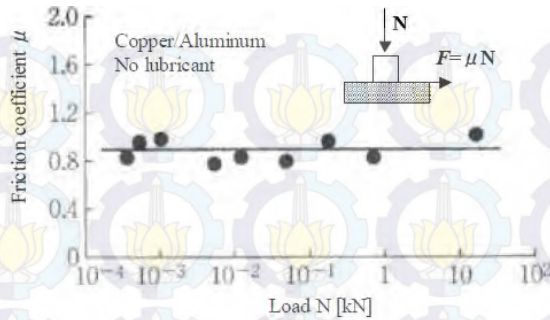
Dengan metode ini, Da Vinci hanya mampu mengukur gesekan statis dan kemungkinan besar dia tidak menyadari perbedaan antara gesekan statis dan kinetik, Da Vinci menemukan dua hukum gesekan yaitu :

1. Gesekan yang timbul oleh beban yang sama akan memiliki nilai resistansi yang sama pada awal balok bergerak walaupun balok memiliki panjang dan lebar yang berbeda.
2. Gaya gesekan akan menjadi dua kali lipat apabila masa juga dibuat dua kali lipat

Da Vinci mendefinisikan koefisien gesekan,  $\mu$  adalah koefisien gesekan, dan  $N$  adalah gaya normal. Hukum inilah yang menjadi dasar hukum gesekan hingga sekarang.

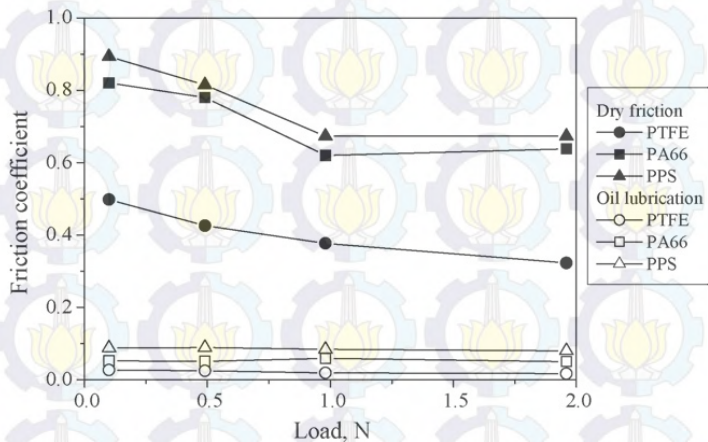
Koefisien gesekan tanpa pelumas (*dry friction*) sebagai fungsi dari beban normal tembaga (*copper*) pada aluminium yang tidak diberi pelumasan ditunjukkan pada gambar 2.7





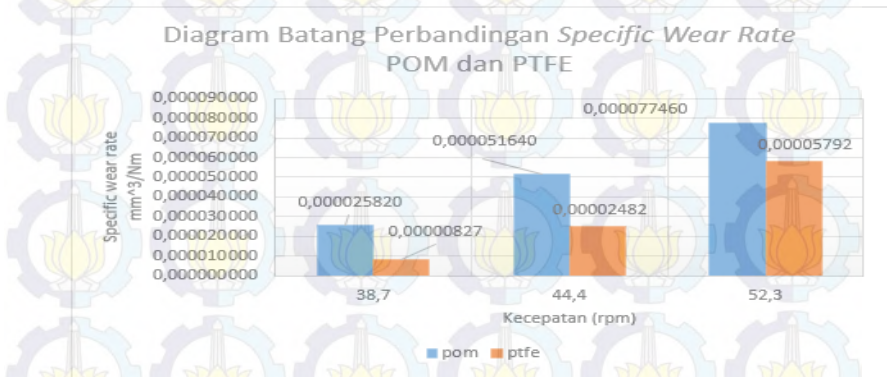
**Gambar 2.7** Efek gaya normal pada koefisien gesekan untuk tembaga sliding pada aluminium (*Azhari, 2009*)

Pengujian juga dilakukan oleh Bin – Bin Jia, Tong-Sheng Li, Xu-Jun Liu, Pei-Hong Cong untuk mendapatkan efek gaya normal pada koefisien gesekan pada berbagai jenis polimer. Hasilnya seperti diperlihatkan pada gambar 2.8



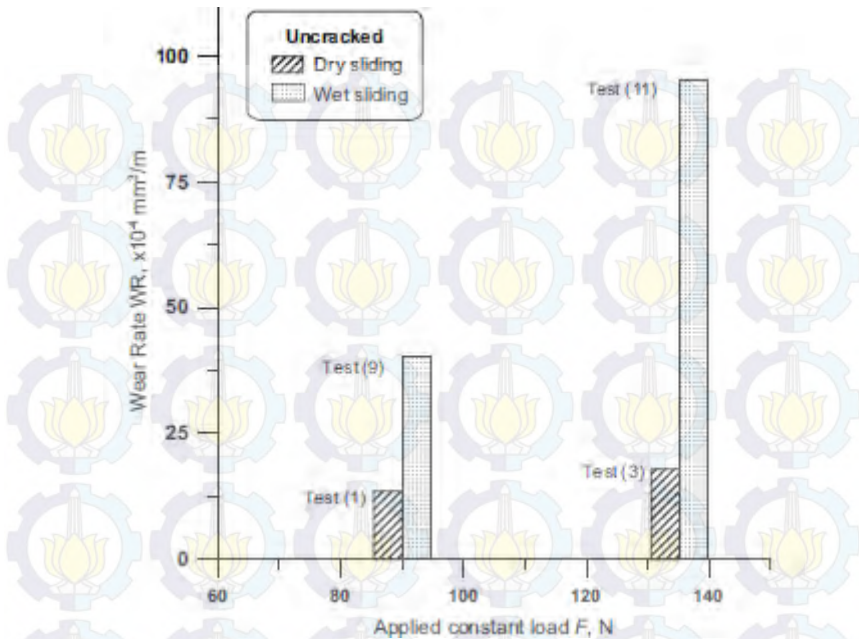
**Gambar 2.8** Koefisien gesekan sebagai fungsi gaya normal pada berbagai macam jenis polymer (*Bin – Bin Jia, Tong-Sheng Li, Xu-Jun Liu, Pei-Hong Cong, 2007*)

Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Nazidatul Inayah dalam tugas akhirnya melakukan pengujian terhadap material PTFE dan POM yang bergesekan dengan material Stainless steel 316 menggunakan alat tribologi tipe *pin on disk* untuk mencari *specific wear rate*. Dalam gambar 2.9 tampak bahwa material PTFE memiliki nilai *specific wear rate* yang lebih kecil yang artinya material PTFE memiliki performa yang lebih baik.



**Gambar 2.9** perbandingan *specific wear rate* POM dan PTFE (Nazidatul Inayah, 2015)

Penelitian terhadap material nylon sudah pernah dilakukan oleh A. Abdelbary n, M.N.Abouelwafa, I.M.ElFahham, A.H.Hamdy dalam jurnalnya yang dipublikasikan pada jurnal *Tribology International* pada tahun 2013 dengan melakukan pengujian material menggunakan tribologi meter tipe *reciprocating*. Mekanisme nya adalah material dibentuk menjadi pin dan dan alas *sliding* nya pun dari material Nylon.



**Gambar 2.10** Grafik *wear rate* material Nylon (A. Abdelbary n dkk, 2013 )

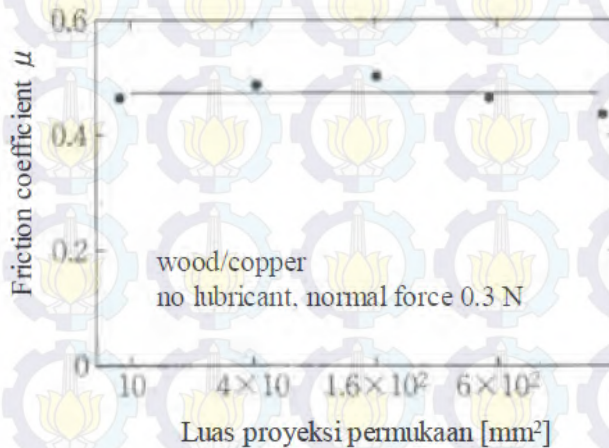
Tampak pada grafik bahwa pada pengujian Nylon melawan Nylon dengan alat uji *trobometer reciprocating* menunjukkan bahwa laju keausan yang terjadi dalam kondisi *wet sliding* lebih besar dari pada kondisi *dry sliding*. Dari pengamatan mereka hal ini disebabkan oleh air malah menggerus permukaan dari Nylon karena Nylon memiliki kemampuan yang disebut *transfer film surface* yaitu kemampuan *self lubricating* dalam kondisi kering. Karena ada pelumasan air maka kemampuan tersebut gagal terbentuk.

Diilhami oleh Da Vinci, hukum mengenai gesekan dirumuskan juga oleh fisikawan Perancis yaitu Guillaume Amotons ( 1699) yang menyatakan bahwa koefisien gesekan



tidak bergantung pada luas proyeksi permukaan yang bersentuhan.

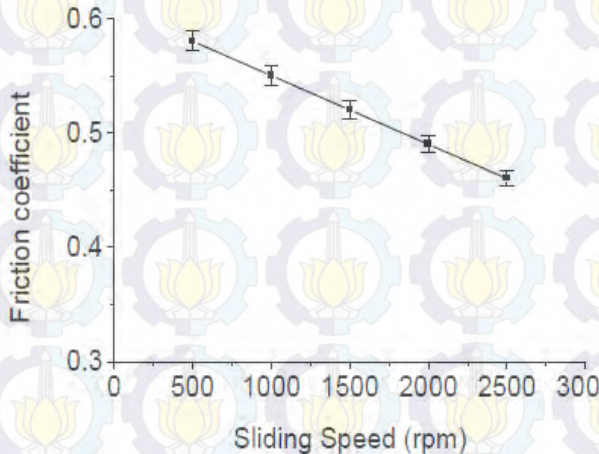
Koefisien gesekan tanpa pelumas dari kayu ( *wood* ) sliding pada tembaga seperti terlihat pada gambar 2.11, dimana area kontak bervariasi dan gaya normal dibuat konstan, koefisien gesekan mendekati konstan, mendukung hukum gesekan Amotons. Koefisien gesekan mungkin tidak mendekati konstan untuk material lunak seperti polimer dan permukaan yang licin ( dimana luasan sesungguhnya kontak secara efektif sama dengan luasan kontak yang terjadi ), sebagai contoh koefisien gesekan pada roda mobil semakin meningkat dengan peningkatan ukuran lebar ban.



**Gambar 2.11** efek luas proyeksi permukaan pada koefisien gesekan kayu sliding pada tembaga dengan gaya normal konstan 0,3 N ( *Azhari, 2009* )

Hukum gesekan yang ketiga dinyatakan oleh fisikawan Perancis C.A Coulomb (1785) yaitu membedakan antara gaya gesek statis dan kinetis, dan gaya gesek kinetis tidak berhubungan dengan kecepatan *sliding* permukaan. Akan tetapi hukum ini dalam percobaan tidak sesuai dengan hasil percobaan, karena

secara umum koefisien gesek kinetis sebagai fungsi kecepatan *sliding* mempunyai tren kemiringan negative ( negative slope ) seperti pada gambar 2.12



**Gambar 2.12** Variation of friction coefficient with the variation of sliding speed (Relative humidity =70%, Normal load =10N)  
(M. A. Chowdhury, M. K. Khalil, D. M. Nuruzzaman, M. L. Rahaman, 2011)

Material memiliki nilai koefisien gesekan beraneka ragam, seperti gambar grafik di bawah ini menunjukkan koefisien gesekan beberapa material polymer.

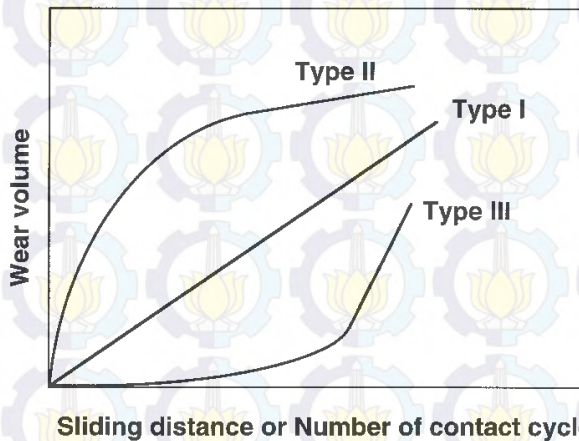
## 2.8 Keausan (*Wear*)

### 2.8.1 Pengertian keausan

Sifat yang dimiliki oleh material terkadang membatasi kinerjanya. Namun demikian jarang sekali kinerja suatu material hanya ditentukan oleh satu sifat, tetapi lebih kepada kombinasi dari beberapa sifat. Salah satu contohnya adalah ketahanan aus (

*wear resistance*) merupakan fungsi dari beberapa sifat material (kekerasan, kekuatan, dan lain – lain ).

Keausan dapat didefinisikan sebagai rusaknya permukaan padatan, umumnya melibatkan kehilangan material yang progresif akibat adanya gesekan antar permukaan padatan. Keausan merupakan hal yang biasa terjadi pada setiap material yang bergesekan dengan material lain. Keausan bukan sifat dasar material, melainkan respon material terhadap system luar (kontak permukaan). Material apaun dapat mengalami keausan disebabkan oleh mekanisme beragam. Akibat negative yang timbul adalah ketahanan (*durability*) dan kehandalan (*realibity*) dan mesin berkurang saat mengalami keausan. Dengan mengetahui volume keausan, kekasaran permukaan, dan bentuk partikel memberikan informasi penting tentang keausan. Tiga macam keausan bisa dilihat pada gambar 2.13



**Gambar 2.13** Tiga macam tipe kurva keausan pada kontak secara periodic atau *berulang* (Koji Kato; Koshi Adachi, 2001)

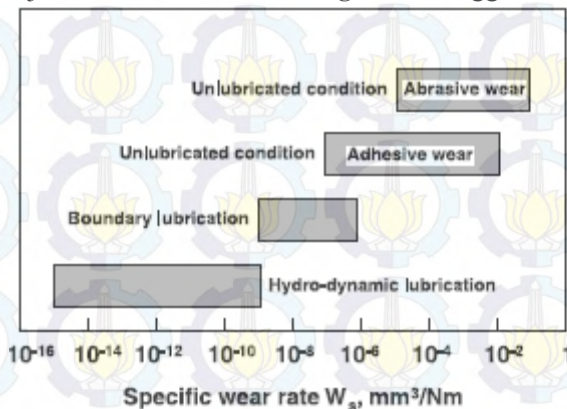
Kurva volume keausan sebagai fungsi jarak *sliding* atau banyak kontak permukaan dalam suatu siklus seperti yang ditunjukkan gambar 2.12. Tipe I menunjukkan nilai keausan yang



konstan dari keseluruhan proses, tipe II menunjukkan suatu peralihan yang mulanya *rate* keausannya tinggi lalu keausan nya konstan pada rate rendah, tipe keausan ini sering diamati pada material logam, tipe III menunjukkan bencana besar peralihan dari rate keausan rendah menuju *rate* keausan yang begitu tinggi, seperti kelelahan patah (*fatigue fracture*), hal ini biasa terjadi pada material jenis keramik

Pada umumnya, keausan dievaluasi dengan jumlah kehilangan dan keadaan permukaan yang aus. Derajat keausan dinyatakan dengan *wear rate*, *specific wear rate*, atau *wear coefficient*. *Wear rate* didefinisikan sebagai volume keausan persatuan jarak. *Specific wear rate* didefinisikan sebagai volume keausan persatuan jarak dan persatuan beban. *Wear coefficient* adalah hasil dari *Specific wear rate* dengan kekerasan (hardness) dari material yang aus.

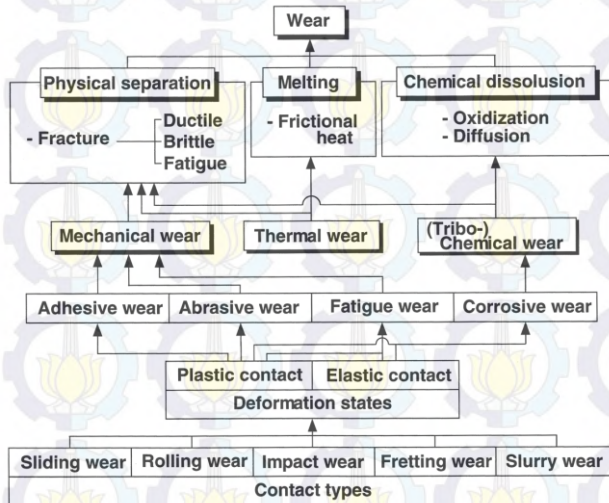
Pada gambar 2.14 ditunjukkan *Specific wear rate* berbagai material logam dengan berbagai kondisi pelumasan yang menunjukkan distribusi antara *range*  $10^{-15}$  hingga  $10^{-1}$  mm<sup>3</sup>/Nm.



**Gambar 2.14** *Specific wear rate* pada material logam dengan berbagai kondisi pelumasan (Koji Kato; Koshi Adachi, 2001)

## 2.8.2 Mekanisme Keausan

Seperti telah digambarkan pada gambar 2.15 keausan dapat terjadi melalui empat macam mekanisme, berikut ini adalah penjelasan dari masing – masing keausan.

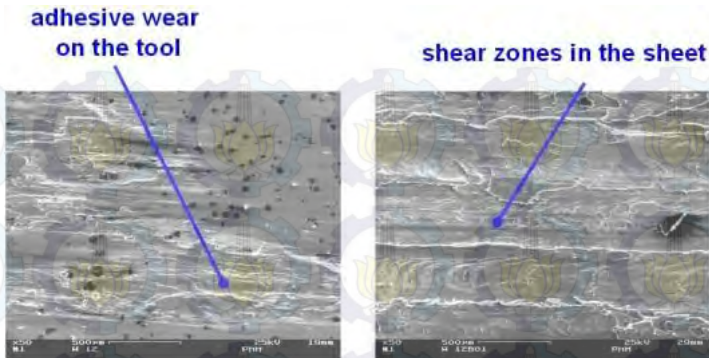


**Gambar 2.15** Berbagai macam mekanisme keausan yang timbul karena efek kontak permukaan (*Koji Kato; Koshi Adachi, 2001*)

Berikut ini adalah penjelasan dari gambar 2.15 mengenai berbagai macam tipe keausan yang dihasilkan oleh berbagai macam variasi

### 1. Keausan adesif (*adhesive wear*)

Keausan adesif terjadi bila kontak permukaan dari material atau lebih mengakibatkan adanya pelekatan (*adhesive*) antara satu dengan lainnya, serta deformasi plastis dan pada akhirnya terjadi pengikatan (*bonding*) permukaan material yang satu dengan lainnya, seperti ditunjukkan gambar 2.16 dan mekanismenya pada gambar 2.17.



**Gambar 2.16** Pengamatan mikroskopik keausan *adhesive* (<http://www.ptu.tu-darmstadt.de>)

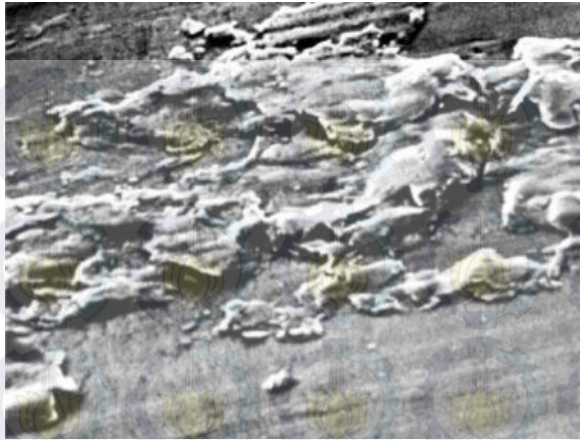


**Gambar 2.17** Mekanisme keausan adesif (Dr Yilmaz Ozmen, 2015)

## 2. Keausan Abrasif (*Abrasive Wear*)

Terjadi bila suatu partikel keras dari suatu material tertentu meluncur pada permukaan material lain yang lebih lunak sehingga penetrasi atau pemotongan material yang lebih lunak, seperti diperlihatkan pada gambar 2.18 dan mekanismenya 2.19





**Gambar 2.18** Pengamatan mikroskopik keausan *abrasive* (Dr Yilmaz Ozmen, 2015)



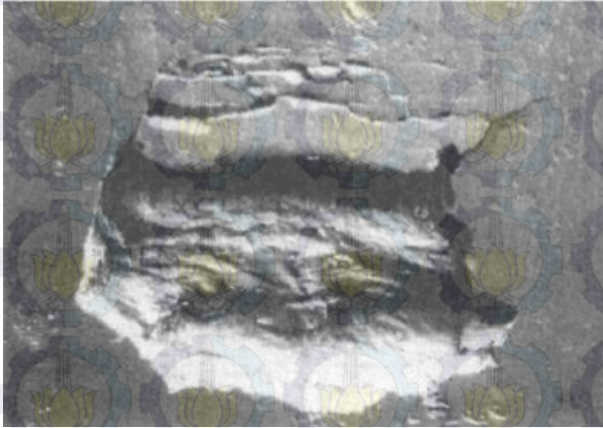
**Gambar 2.19** Mekanisme keausan abrasif (Dr Yilmaz Ozmen, 2015)

### 3. Keausan lelah (*fatigue wear*)

Keausan lelah merupakan mekanisme yang relative berbeda dibandingkan dengan dua mekanisme sebelumnya, yaitu dalam hal interaksi permukaan. Baik keausan adesif maupun abrasif yang melibatkan hanya satu interaksi, sementara pada keausan lelah dibutuhkan multi interaksi.

Keausan ini terjadi akibat interaksi permukaan dimana permukaan yang mengalami beban berulang akan mengarah pada pembentukan retak – retak mikro. Retak – retak mikro tersebut pada akhirnya menyatu dan menghasilkan pengelupasan material. Jadi volume material yang hilang oleh keausan lelah bukan lah parameter yang terlalu penting, tetapi yang lebih

penting adalah umur material setelah mengalami revolusi putaran atau waktu sebelum keausan lelah muncul. Gambar 2.20 menunjukkan kegagalan lelah yang terjadi pada ball bearing dan gambar 2.21 menunjukkan mekanismenya.



**Gambar 2.20** Pengamatan mikroskopik terhadap keausan lelah (Dr Yilmaz Ozmen, 2015)

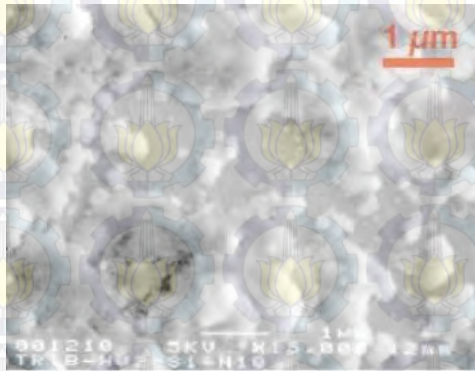


**Gambar 2.21** mekanisme keausan lelah (Dr Yilmaz Ozmen, 2015)

#### 4. Keausan korosif ( *corrosive wear* )

Proses kerusakan dimulai dengan adanya perubahan kimiawi material di permukaan oleh factor lingkungan. Kontak dengan lingkungan ini menghasilkan pembentukan lapisan pada permukaan dengan sefat yang berbeda dengan material induk. Sebagai konsekuensinya, material akan mengarah kepada perpatahan interface antara lapisan permukaan dan material

induk dan akhirnya seluruh lapisan permukaan itu akan tercabut. Gambar 2.22 menunjukkan keausan korosif pada baja dan gambar 2.23 menunjukkan mekanismenya.



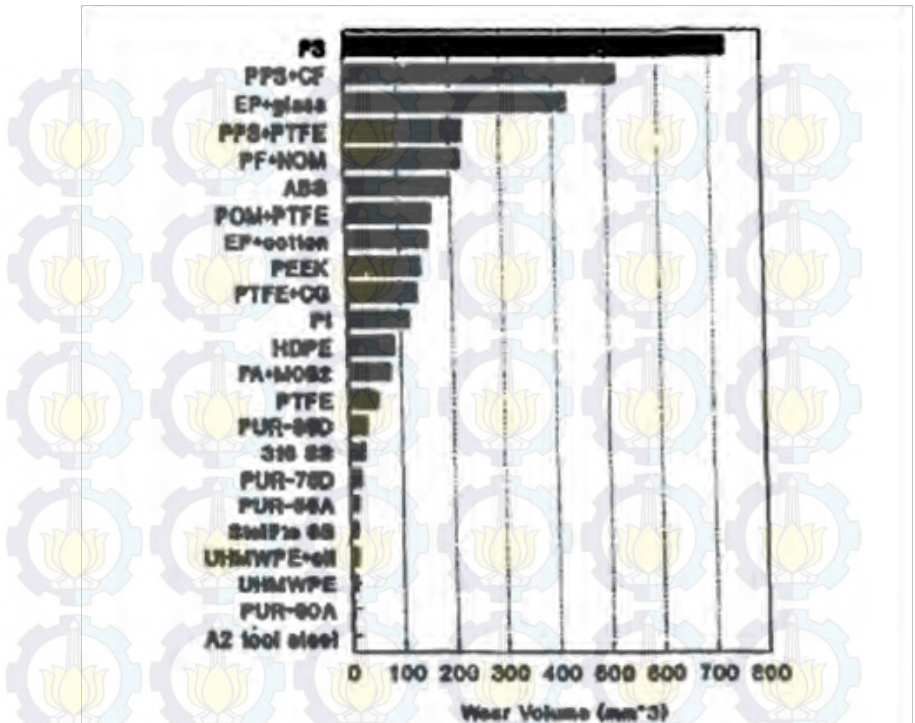
**Gambar 2.22** Pengamatan mikroskopik terhadap keausan korosif (Dr Yilmaz Ozmen, 2015)



**Gambar 2.23** mekanisme keausan korosif (Dr Yilmaz Ozmen, 2015)

Pengujian terkait wear terhadap beberapa macam material polymer pernah dilakukan oleh *sugison plastics*. Dimana pengujian menggunakan tribometer *pin on disk*. Spesimen pin terdiri dari beberapa polimer sedangkan disk nya adalah material aluminium oxide. Berikut gambar grafik *wear resistance* beberapa jenis material polymer yang diuji oleh *Sugison Plastic*. Material uji berputar antara 200 – 2400 rpm selama 3 jam.





**Gambar 2.24** wear resistance dari berbagai jenis material polymer (*sugison plastic*)

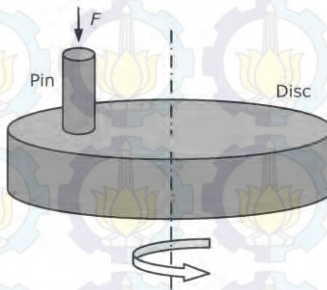
Hasil yang didapatkan dalam pengujian yang dilakukan tampak pada gambar grafik 2.24 bahwa material UHMWPE memiliki *wear resistance* yang lebih baik diantara material polimer – polimer lain hal ini ditunjukan bahwa material UHMWPE memiliki *wear volume* yang sangat kecil sehingga pengujian oleh *sugison plastic* ini dijadikan parameter untuk pemilihan material dalam tugas akhir ini.

### Alat uji keausan material

Ada berbagai macam alat uji keausan yang dapat digunakan untuk menguji keausan antara lain sebagai berikut :

#### 1. *Pin on disk*

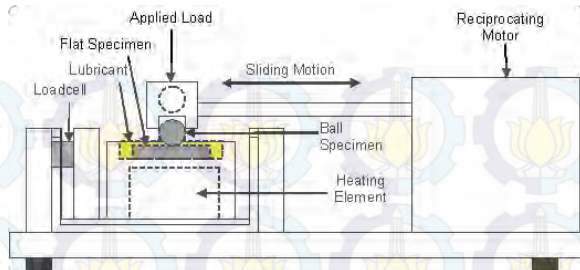
Pada *pin on disk* tribometer, pin ditahan diam dan disk berotasi. Pin dapat berupa bola yang tidak berotasi, ujung pin berupa setengah bola atau ujung nya berupa *flat* atau datar, seperti gambar 2.25. Tes ini sering diaplikasikan untuk pengembangan material pada aplikasi tribologi.



**Gambar 2.25** pin on disk  
(<http://tribolab.mas.bg.ac.rs>)

#### 2. *Pin on flat reciprocating*

Pada pengujian ini, plat bergerak translasi bolak-balik dan pin ditahan diam, atau sebaliknya pin plat yang diam dan pin bergerak bolak-balik seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.26 Pin dapat berupa bola, ujung setengah bola, atau silinder dengan ujung flat atau datar.



**Gambar 2.26** *Pin on flat reciprocating*  
([www.leonardocentre.co.uk](http://www.leonardocentre.co.uk))

3. *Pin on cylinder (Edge Loaded)*

Pada pengujian ini sama dengan pengujian pin on disk, kecuali beban yang pada pin yang bergesekan dengan permukaan melingkar pada disk seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.27. Pin dapat berupa silinder dengan ujung bola maupun flat.



**Gambar 2.27** *Pin on disk (edge loaded)* (<http://www.mdpi.com>)

4. *Thrust Washer (force loaded)*

Pada tes ini permukaan datar silinder atau ring (washer) berotasi di atas permukaan datar ring yang diam, dan beban diberikan pada permukaan datar ring yang diam, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.28.



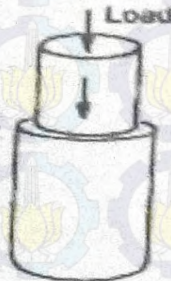
ring dapat berupa silinder pejal atau silinder berlubang di bagian tengahnya. Tes ini biasanya digunakan untuk menguji material yang tegangannya rendah seperti jurnal bering.



**Gambar 2.28** *Thrust Washer (force loaded)* (<http://www.phoenix-tribology.com>)

5. *Pin into bushing (edge loaded)*

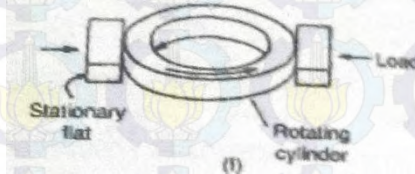
Pada pengujian ini, gaya axial diberikan untuk menekan tabung seperti pada gambar 2.29



**Gambar 2.29** *Pin into bushing (Tegar, 2010)*

6. *Rectangular Flats on Rotating Cylinder (Edge Loaded)*

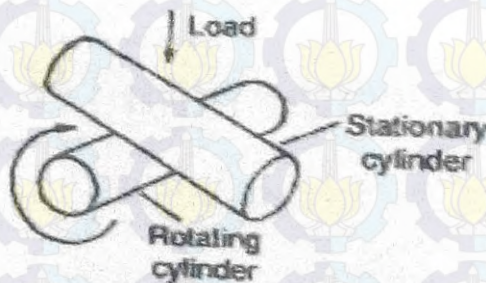
Pada pengujian ini, dua balok mengapit silinder yang berputar, dimana satu blok diam dan blok lainnya diberi beban seperti ditunjukkan pada gambar 2.30



**Gambar 2.30** *Edge Loaded* )(Tegar, 2010 )

#### 7. *Crossed Cylinder*

Pengujian ini terdiri dari dua silinder yang tengahnya berlubang atau silinder pejal, salah satu diam dan silinder yang lain berotasi dengan sudut  $90^\circ$  seperti pada gambar 2.31



**Gambar 2.31** *crossed cylinder* (tegar 2010 )

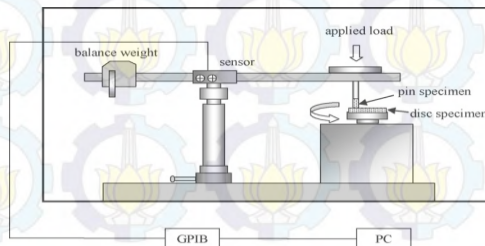
#### 8. *Four Ball*

Pengujian ini terdiri dari 4 bola yang dibentuk tetrahedral. Bola yang paling atas berotasi dan menggosok tiga bola dibawahnya yang ditahan diam pada posisinya, seperti ditunjukkan pada gambar 2.32



**Gambar 2.32** *Four ball ( tegar 2010)*

Pada pengujian yang dilakukan oleh Bin – Bin Jia, Tong-Sheng Li, Xu-Jun-Liu, Pei-Hong Cong , alat uji yang mereka gunakan adalah *Pin on Disk* seperti pada gambar 2.33



**Gambar 2.33** alat uji *pin on disk* (Bin – Bin Jia, Tong-Sheng Li, Xu-Jun-Liu, Pei-Hong Cong,2007)

Parameter yang diperoleh dari eksperimen mereka adalah *specific wear rate (K)*, dari persamaan Archad yaitu

$$K = \Delta m / L.F.\rho$$

Perubahan masa  $\Delta m$  dibagi dengan masa jenis  $\rho$  adalah perubahan volume  $\Delta V$ , sehingga persamaan (2.2) dapat dituliskan sebagai berikut :

$$K = \Delta V / L.F$$



Keterangan :

K	= Specific Wear Rate ( $\text{mm}^3 / \text{Nm}$ )
$\Delta m$	= perubahan massa (kg)
$\Delta V$	= perubahan volume ( $\text{mm}^3$ )
F	= gaya (N)
$\rho$	= massa jenis benda ( $\text{kg}/\text{mm}^3$ )

## 2.9 Pelumas

Pelumas adalah zat kimia, yang umumnya cairan, yang diberikan di antara dua benda bergerak untuk mengurangi gaya gesek. Pelumas berfungsi sebagai lapisan pelindung yang memisahkan dua permukaan yang berhubungan. Untuk mencegah atau mengurangi keausan yang lebih parah yaitu memperlancar kerja mesin dan memperpanjang usia dari mesin dan peralatan itu sendiri, maka bagian bagian logam dan peralatan yang mengalami gesekan tersebut diberi perlindungan ekstra. Fungsi dari pelumasan dapat dijelaskan sebagai berikut :

### 1. Tugas pokok pelumas

Pada dasarnya yang menjadi tugas pokok pelumas adalah mencegah atau mengurangi keausan sebagai akibat dari kontak langsung antara permukaan logam yang satu dengan permukaan logam lain terus menerus bergerak. Selain keausan dapat dikurangi, permukaan logam yang terlumasi akan mengurangi besar tenaga yang diperlukan akibat terserap gesekan, dan panas yang ditimbulkan oleh gesekan akan berkurang.

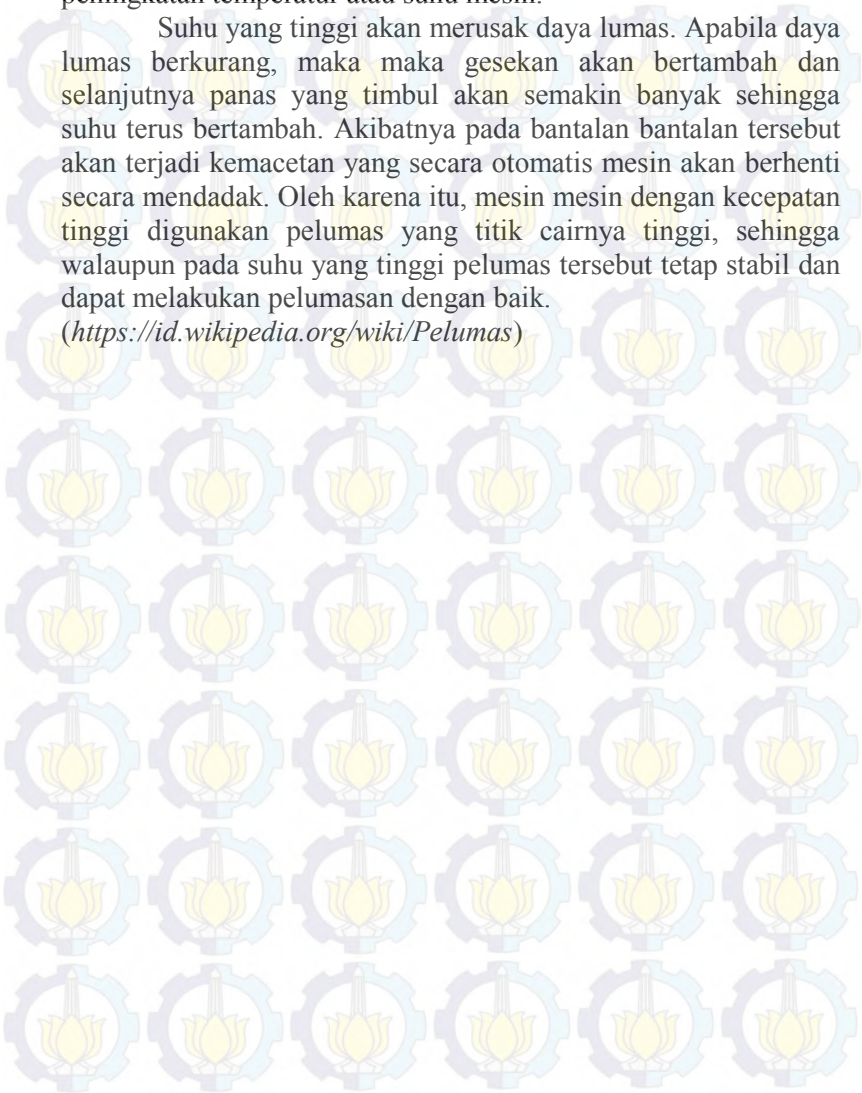
### 2. Tugas tambahan pelumas

Selain mempunyai tugas pokok, pelumas juga berfungsi sebagai penghantar panas. Pada mesin mesin dengan kecepatan putaran tinggi, panas akan timbul pada bantalan bantalan sebagai akibat dari adanya gesekan yang banyak. Dalam hal ini pelumas

berfungsi sebagai penghantar panas dari bantalan untuk mencegah peningkatan temperatur atau suhu mesin.

Suhu yang tinggi akan merusak daya lubas. Apabila daya lubas berkurang, maka gesekan akan bertambah dan selanjutnya panas yang timbul akan semakin banyak sehingga suhu terus bertambah. Akibatnya pada bantalan bantalan tersebut akan terjadi kemacetan yang secara otomatis mesin akan berhenti secara mendadak. Oleh karena itu, mesin mesin dengan kecepatan tinggi digunakan pelumas yang titik cairnya tinggi, sehingga walaupun pada suhu yang tinggi pelumas tersebut tetap stabil dan dapat melakukan pelumasan dengan baik.

(<https://id.wikipedia.org/wiki/Pelumas>)

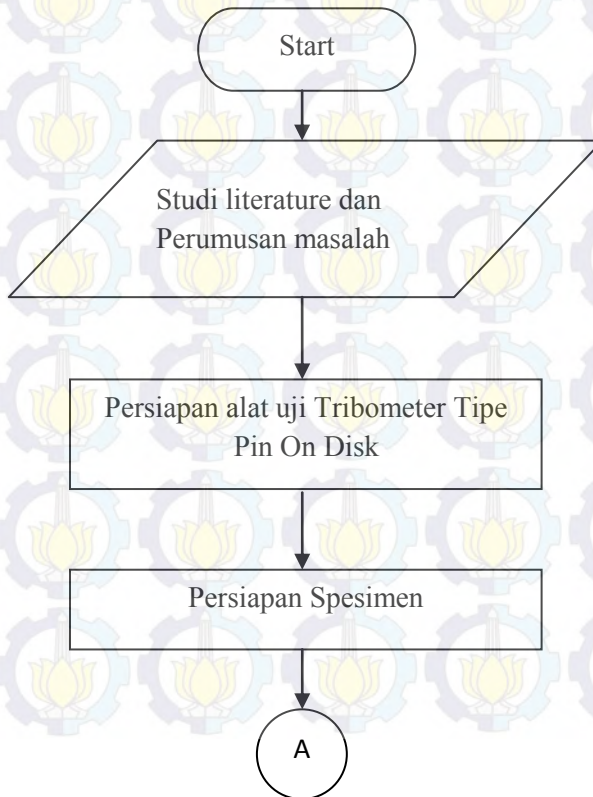


## BAB III

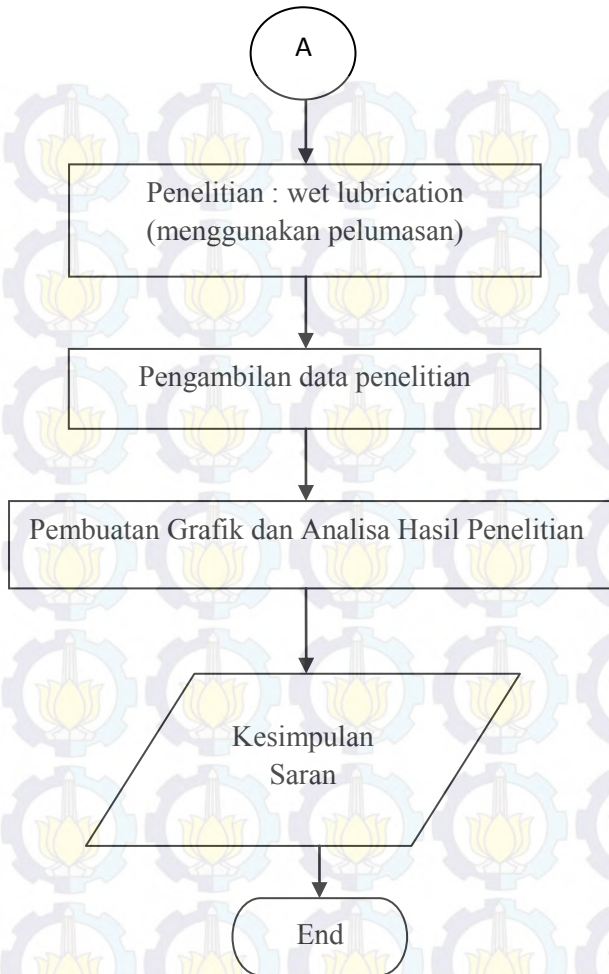
### METODOLOGI

#### 3.1 Diagram Alir penelitian

Dalam penelitian ini, terdapat diagram alir penelitian bisa dilihat pada gambar 3.1. penelitian dilakukan secara eksperimental atau analitis, yaitu pengambilan data secara langsung dan dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai specific wear rate dan struktur permukaan dari permukaan spesimen uji.







**Gambar 3.1** Flowchart Penelitian

### 3.2 Langkah - langkah Penelitian

Adapun langkah – langkah dalam penelitian pengujian laju keausan ( *wear rate*) pada material UHMWPE yang dilakukan adalah sebagai berikut :

- a. Studi Literatur Dan Perumusan Masalah
- b. Persiapan Alat Uji Tribometer Tipe *Pin On Disk*
- c. Persiapan Spesimen UHMWPE (pin), nylon (pin) dan SS316 (Disk)
- d. Pengambilan Data Spesimen
- e. Penelitian: paste lubrication ( dengan pelumasan pasta)
- f. Pengolahan Data Penelitian
- g. Pembuatan Grafik Dan Analisa Hasil Penelitian
- h. Kesimpulan Saran Rekomendasi

#### 3.2.1 Perumusan Masalah dan Studi pustaka

Langkah awal di dalam melakukan penelitian ini adalah merumuskan permasalahan – permasalahan yang ada dan kemudian mencari ide serta solusi atas permasalahan tersebut. Setelah itu memulai mengkaji studi literature dan studi pustaka terkait teori – teori yang berkaitan dengan penelitian yang akan dilakukan.

#### 3.2.2 Pesiapan Alat Uji Tribometer Tipe Pin On Disk

Tahap ini merupakan langkah awal dalam melakukan pengambilan data. Alat uji tribometer merupakan alat untuk mengetahui laju keausan dari suatu material yang melakukan kontak. Persiapan yang dilakukan meliputi pen-settingan *control speed* dan load (pembebanan). Data yang diinginkan dari penelitian ini adalah data yang benar – benar akurat, sehingga akan dilakukan kalibrasi ulang dari setiap komponen yang ada pada alat tribometer tipe Pin On Disk.

### **3.2.3 Persiapan Spesimen**

Spesimen yang digunakan pada penelitian ini ada dua, yaitu UHMWPE dan nylon sebagai pin dan SS 316 sebagai disk dan masing – masing spesimen akan dicari spesifikasinya.

### **3.2.4 Pengambilan Data Penelitian**

Tahap ini merupakan tahapan yang penting karena pada tahap inilah akan dilakukan penelitian yang nantinya akan digunakan sebagai bahan pembahasan serta analisa. Pengambilan data akan dilakukan sesuai dengan flowchart penelitian pada gambar 3.2. penelitian yang dilakukan akan dilakukan satu kali, yaitu penelitian tanpa pelumasan

### **3.2.5 Analisa struktur permukaan**

Spesimen yang telah dilakukan pengujian wear rate (laju keausan) selanjutnya akan dilakukan analisa struktur permukaan. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui bagaimana struktur permukaan dari material yang melakukan kontak sehingga bisa dianalisa untuk diketahui penyebab serta solusi dari keausan material tersebut.

### **3.2.6 Pengolahan Data penelitian**

Data yang didapat dari penelitian selanjutnya akan diolah dengan beberapa rumus perhitungan dan juga dari studi literatur yang telah dilakukan.

### **3.2.7 Pembuatan Grafik dan Analisa Hasil Penelitian**

Dari data penelitian yang telah dilakukan selanjutnya akan dilakukan pembuatan grafik dan dilakukan analisa dan pembahasan dari grafik serta struktur permukaan yang ada pada spesimen. Grafik akan dikaji dan dijelaskan dengan menggunakan teori – teori yang ada.

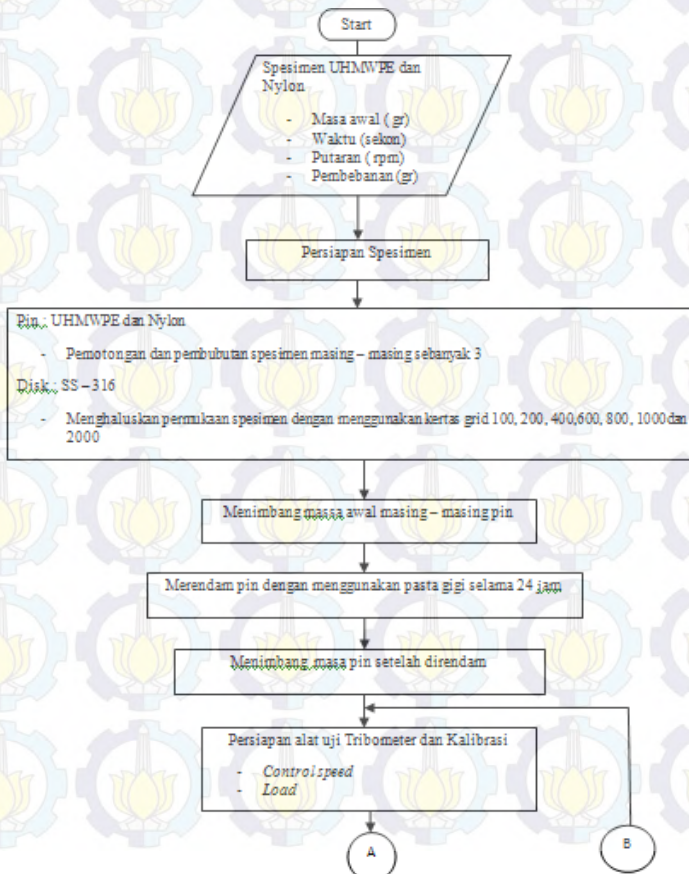


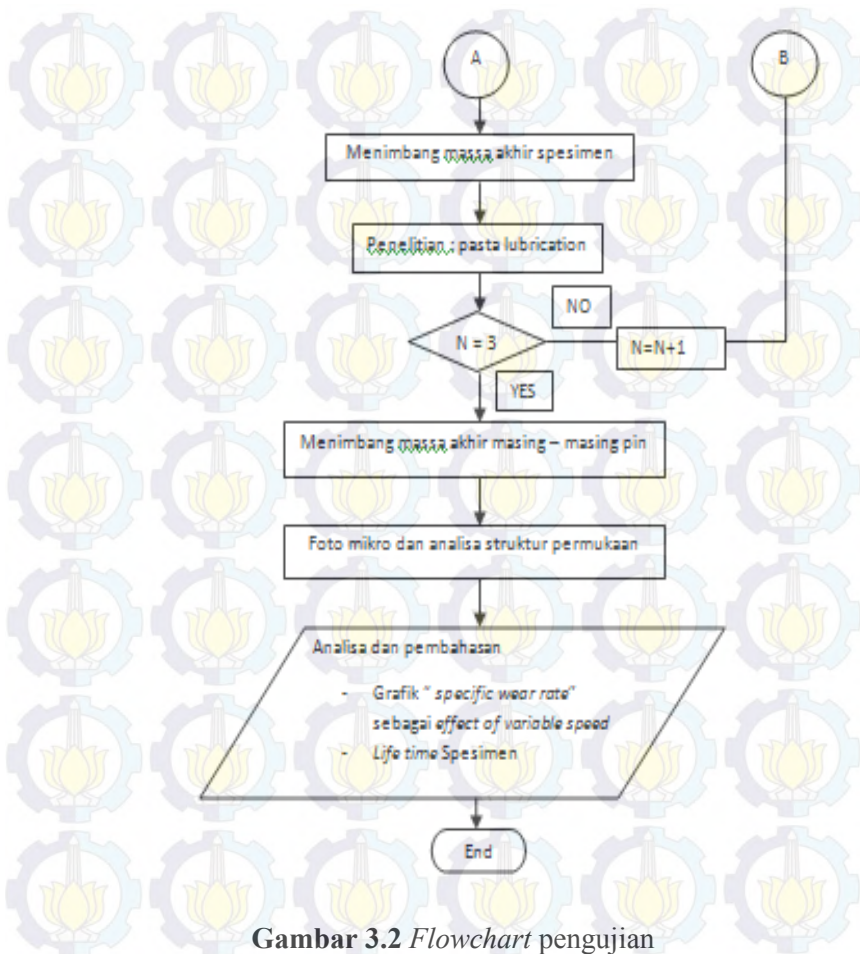
### 3.2.8 Kesimpulan, Saran, dan Rekomendasi

Meyimpulkan dari keseluruhan penelitian yang telah dilakukan kemudian memberikan saran dan rekomendasi

Selain diagram alir penelitian, untuk memperjelas dan meringkas alur penelitian juga disajikan flowchart pengujian.

Flowchart pengujian bisa dilihat pada gambar 3.2





### 3.3 Langkah Kerja Pengujian

Penelitian ini dilakukan melalui beberapa langkah kerja sebagai studi eksperimental, yaitu:

- a. Studi pustaka dan penentuan material yang hendak diuji
- b. Penimbangan masa awal spesimen (gr), penelitian putaran (rpm), wtu (sekon), dan pembebanan (gr)
- c. Persiapan spesimen : UHMWPE (pin), nylon (pin) dan SS316 (disk)
- d. Menimbang masa awal masing – masing pin
- e. Merendam masing – masing pin dengan pasta gigi selama 24 jam
- f. Menimbang masa pin setelah direndam
- g. Persiapan alat uji Tribometer dan Kalibrasi : *Control speed* dan *load*
- h. Penelitian : paste lubrication
- i. Menimbang masa akhir spesimen
- j. Foto mikro dan analisa struktur permukaan
- k. Analisa dan pembahasan grafik “ *specific wear rate* ” dan “ *wear volume* ” sebagai : *effect of variable speed* dan perhitungan *life time* material.

### 3.3.1 Studi pustaka dan penentuan material yang hendak diuji

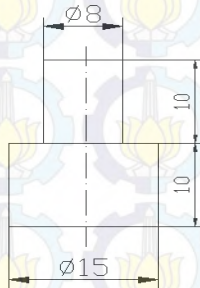
Melakukan studi pustaka sebagai dasar – dasar teori yang akan digunakan di dalam melakukan penelitian Tugas Akhir ini dan penentuan material yang hendak diuji yaitu *Ultra high molecular weight polyethylene (UHMWPE)*, Nylon dan *Stainless Steel SS 316* Berikut adalah gambar material *Ultra high molecular weight polyethylene (UHMWPE)* sebagai benda uji.

### 3.3.2 Persiapan Spesimen

Mempersiapkan spesimen sebagai bahan alat uji dari penelitian. Spesimen terdiri dari *Ultra high molecular weight polyethylene (UHMWPE)* dan nylon sebagai pin dan *Stainless Steel SS 316* sebagai disk. Untuk lebih memperjelas akan dijelaskan sebagai berikut



- a. Pin spesimen, dengan bentuk silinder pejal dengan diameter bertingkat. Dimensi pin dapat dilihat pada Gambar. Satuan dari dimensi adalah mm.

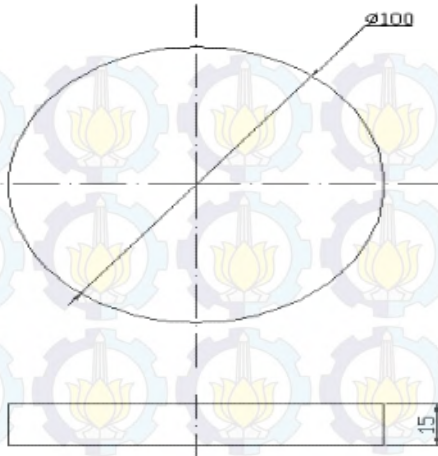


**Gambar 3.3** desain pin



**Gambar 3.4** gambar pin

- b. Membuat disk dengan bahan stainless steel dan dimachining dengan dimensi bisa dilihat pada gambar setelah itu diperhalus dengan amplas.



**Gambar 3.5** desain disk

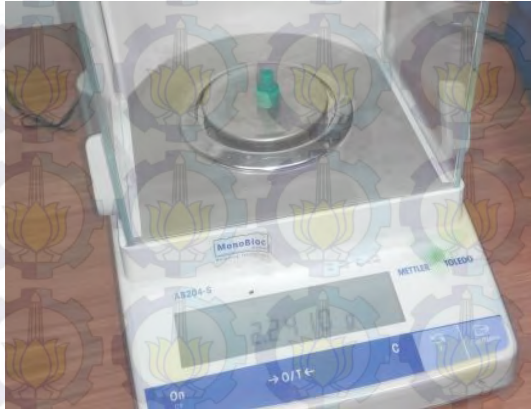


**Gambar 3.6** gambar disk

Setelah disk sudah jadi sesuai dengan disk yang telah dibuat, langkah selanjutnya adalah menghaluskan permukaan disk dengan menggunakan kertas grid. Kertas grid yang digunakan adalah 100, 200, 400, 600, 800, 1000 dan 2000..

### 3.3.3 Penimbangan masa awal spesimen (gr)

Pengukuran properties spesimen dilakukan dengan menggunakan timbangan digital. Berikut timbangan digital yang digunakan dapat dilihat pada gambar 3.6



**Gambar 3.7 Timbangan Digital**

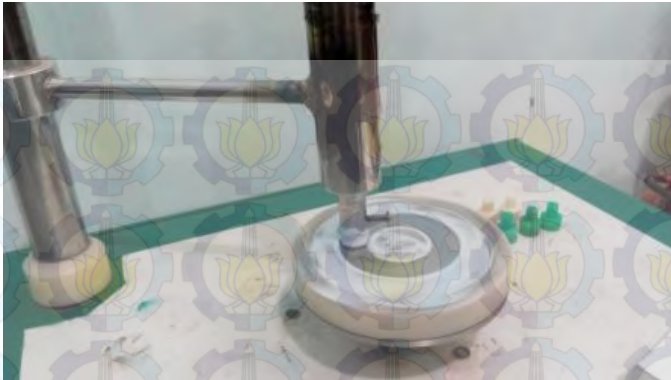
### 3.3.4 Perendaman masing – masing pin dengan pasta gigi

Perendaman spesimen dilakukan 24 jam, dan pada udara tertutup.

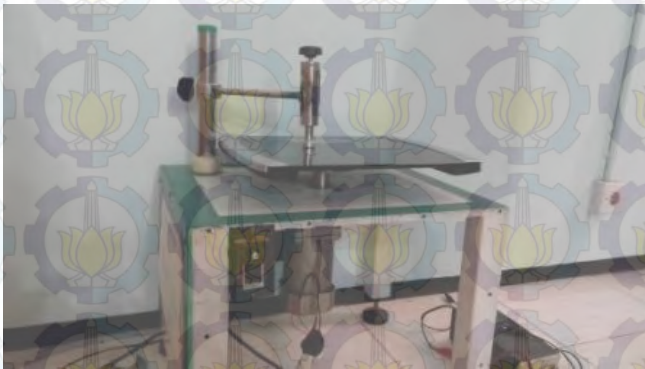
### 3.3.5 Persiapan alat uji tribometer dan kalibrasi : *control speed dan load*

Mempersiapkan alat uji tribometer tipe pin on disk, dimana pada tahap ini dilakukan kalibrasi dari speed control, variable load, dan pet-settingan semua komponen dari tribometer. Tribometer yang digunakan dapat dilihat pada gambar.3.7





**Gambar 3.8 Tribometer Tipe Pin on Disk**



**Gambar 3.9 Hasil kalibrasi pembebanan**

1. Pengukuran *variable load* (F)
2. Pengukuran putaran dengan menggunakan tachometer akan didapatkan rpm dari lima level speed control, panjang wear track dibuat konstan sehingga akan didapatkan waktu pengujian masing – masing level speed control dengan menggunakan rumus :

$$t = \frac{s}{\pi \cdot d \cdot \text{Rpm}} \quad (3.1)$$

Keterangan :

$t$  = waktu pengujian ( menit )

$s$  = panjang track pin ( meter)

$d$  = diameter track pin ( meter ) ( berdasarkan panjang lengan pemegang pin pada alat pin on disk yaitu sebesar 0,08 m)

sehingga  $v_1$ ,  $v_2$ ,  $v_3$ ,  $v_4$ , dan  $v_5$  dapat ditentukan dengan menggunakan rumus :

$$v = \frac{\text{panjang wear track}}{t.60} \quad (3.2)$$

### 3.3.6 Penelitian : paste lubrication

Pada pengujian ini, pasta yang digunakan adalah pasta gigi. Berikut gambar pasta gigi yang digunakan dalam percobaan.



**Gambar 3.10 Paste Lubrication**

Setelah pengujian makan spesimen diberikan dengan air dan kemudian dilal dengan kain kering untuk memastikan bahwa sisa dari pasta tidak melekat dari spesiemen

### 3.3.7 Foto mikrostruktur permukaan

Melakukan foto mikro permukaan dari material yang telah diuji di Laboratorium Metallurgy Teknik Mesin FTI – ITS untuk mengetahui mekanisme laju keausan dari material yang mengalami kontak dengan menggunakan Mikroskop Optik dengan pembesaran 200 kali.



**Gambar 3.11** Mikroskop Optik perbesaran 200 kali

### 3.3.8 Analisa dan pembahasan

Mengolah data hasil pengujian dan membuat grafik dan kemudian menganalisa grafik tersebut. Kemudian menganalisa mekanisme laju keausan ( wear rate ) dari hasil pengujian struktur permukaan. Grafik yang akan dibuat yaitu, Grafik “ *Specific wear rate* “ sebagai efek *variable of speed*, perhitungan life time material



### 3.4 Spesifikasi Peralatan Tribometer

Spesifikasi pin on disk yang digunakan untuk penelitian tugas akhir ini adalah :

<i>Sliding speed range</i>	: 8,37 – 250 mm/s
Disc rotation speed	: 8 – 60 rpm
Maximum normal load	: 150 N
Friction force	: 0 – 150 N
<i>Wear measurement range</i>	: 10 mm
Pin size	: 8 – 15 mm diameter / diagonal
Disk size	: 100mm diameter x 20mm tebal
Wear track diameter	: 20 – 80 mm

Sedangkan spesifikasi alat ukur yang digunakan adalah :

- Untuk mengukur kecepatan putaran dengan ebrbagai tingkatan level yang dijaga konstan oleh speed control digunakan Tachometer
- Untuk mengukur besar load untuk pengaturan pegas digunakan timbangan berat badan
- Untuk menimbang masa pin polimer digunakan timbangan digital dengan keakuratan 0,1 mg
- Untuk mengukur besar tempratur gesekan permukaan gesekan pin dengan disk digunakan infra red thermometer ( non kontak )

Spesifikasi AC motor, *speed control* dan pegas sebagaimana data berikut:

1. Spesifikasi AC motor dan gear box  
AC motor  
Merk : Peei Moger  
Type : M-51K90U – CFV  
Daya : 1φ4P 50W CONT.6,0Mf  
220V 50Hz 90-1400rpm

220V 60Hz 90-1700rpm

Gear Box

Merk : Peei Moger  
Type : G-5U25-K  
Ratio : 1/25  
Max.T : 77kgfcm

2. Spesifikasi speed control

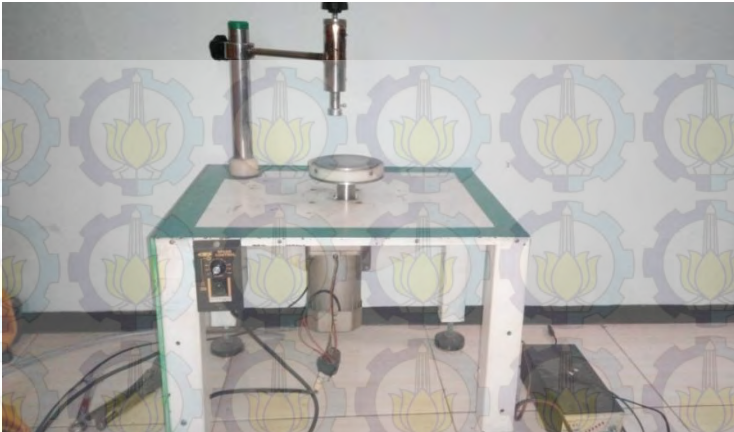
Merk : Peei Moger  
Type : US-5140A-C  
Range : speed control 0 – 100 selectable

3. Spesifikasi pegas

Dimensi : panjang kawat 6cm, diameter pegas  
18mm dan diameter kawat 4 mm  
Load : 0 – 100 Newton

Pengujian operasi AC motor yang meliputi run test dan temperatur monitoring, pengujian speed control switching dengan menggunakan tachometer, pengujian karakteristik kekakuan benar – benar siap digunakan untuk keperluan eksperimen.

Gambar assembly tribometer dapat diamati pada gambar 3.12



**Gambar 3.12. Tribometer tipe pin on disk**

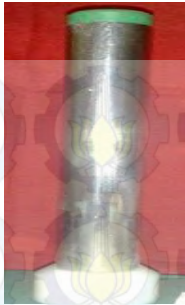
Berikut ini adalah gambar holder dengan bagian – bagiannya :

**a. Metal main holder ( tiang holder) dan casing holder ( selongsong)**

Metal main holder digunakan sebagai sandaran casing holder, casing holder dapat bergerak rotasi horizontal ( mounting ) dan sehingga dapat bergerak vertical sepanjang sumbu metal main holder, sehingga dapat dengan mudah meletakkan pin uji dan mengatur seting load pada casing.

Casing holder dilengkapi dengan skala massa load dari variasi 2kg hingga 10kg. bagian dalam casing holder berupa komponen penyusun load control yang terdiri dari komponen ulir load adjuster, ulir penutup casing dummy, pegas, dan komponen pencengkram benda uji. Berikut ini adalah gambar metal main holder dan casing holde. Main holder dapat dilihat pada gambar. Casing holder dengan komponennya





**Gambar 3.13.***Metal main holder*



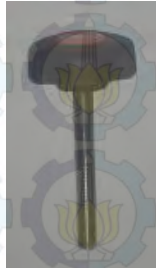
**Gambar 3.14** *Casing holder*



**Gambar 3.15** *Casing holder dan komponen penyusun bagian dalam casing*

**b. *Ulir load adjuster***

Ulir yang memiliki fungsi untuk pengatur beban yang diberikan pada pin. Ulir load adjuster dapat dilihat pada gambar 3.16



**Gambar 3.15** *Ulir load adjuster*

**c. *Ulir penutup casing***

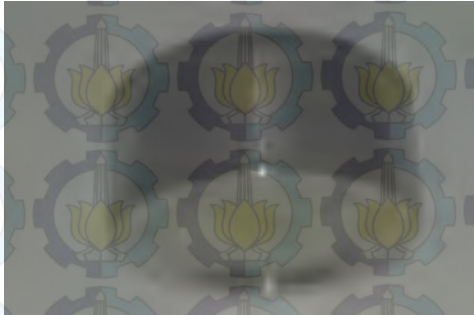
Penutup casing ini berfungsi sebagai landasan dari ulir *load adjuster*. penutup casing ini dilengkapi ulir yang digunakan untuk menyatukan dengan *casing holder* . Ulir penutup casing dapat dilihat pada gambar.3.16



**Gambar 3.16** *Ulir penutup casing*

#### d. Dummy

Dummy akan didorong oleh load adjuster sehingga memberikan tekanan pada pegas. Dummy dapat dilihat pada gambar 3.17



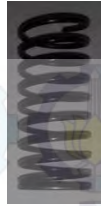
**Gambar 3.17 Dummy**

#### e. Pegas

Pegas memiliki konstanta kekakuan pegas  $k$  tertentu dapat digunakan untuk memberikan gaya tekan pada pin uji saat pegas mengalami defleksi  $\Delta x$ . Sesuai dengan gaya pegas. Pegas yang digunakan dapat dilihat pada gambar 3.19

$$F = k \cdot \Delta x \quad (3.3)$$

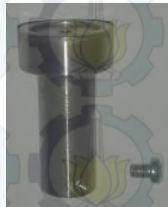




**Gambar 3.19 Pegas**

**f. Pencengkram pin**

Pencengkram pin berfungsi untuk mencengkram pin yang diikat dengan baut pengikat sehingga pin tidak berotasi atau mengalami slip saat pengujian. Pencengkram pin dapat dilihat pada gambar 3.19



**Gambar 3.20 Pencengkram pin**

**3.5 Spesifikasi Spesimen**

**3.5.1 Stainless steel**

Nama material	: Stainless Steel SS 316
Density	: 0,289 lb/in <sup>2</sup>
Tensile Strenght, Ultimate	: 75000 psi
Tensile Strenght, Yield	: 30000 psi

### 3.5.2 Ultra high molecular weight polyethylene (UHMWPE)

Nama material : Ultra high molecular weight polyethylene  
 Density : 0,000945g/mm<sup>3</sup>  
 Tensile Strenght, Ultimate : 40 Mpa  
 Tensile Strenght, Yield : 17 Mpa

### 3.5.3 Nylon

Nama material : nylon  
 Density : 1.15 g/cm<sup>3</sup>  
 Tensile Strenght, Ultimate : 82,7 Mpa  
 Tensile Strenght, yield : 45 Mpa

### 3.6 Perancangan Eksperimen

Eksperimen yang dilakukan dalam tugas akhir ini akan dilakukan tanpa pelumasan. Rancangan eksperimen untuk pengujian keausan tanpa pelumasan ini bisa dilihat tabel 3.1.

**Table 3.1.** Rancangan eksperimen pengujian keausan

Load (kg)	Speed Control	Sliding Speed V (m/s)	Time (menit)	$M_0$ (gr)	$M_A$ (gr)	$\Delta M$ (gr)	$\rho$ (gr/mm <sup>3</sup> )	Sliding Distance L (m)	F (N)	$\Delta V$ (mm <sup>3</sup> )	K (mm <sup>3</sup> /Nm)
8	50	0.2025	57,6					700	78,48		
8	60	0.2324	50,2					700	78,48		
8	70	0.2737	42,6					700	78,48		

Keterangan :

- $M_0$  = massa pin awal sebelum pengujian
- $M_i$  = massa pin akhir setelah pengujian
- $\Delta m = m_0 - m_i$  (perubahan massa pin atau volume aus)

Perubahan massa pin  $\Delta m$  didapatkan dengan menimbang pin sebelum dilakukan pengujian dan kemudian ditimbang lagi menggunakan timbangan digital setelah dilakukan pengujian. Setelah  $\Delta m$  diketahui, berikutnya mulai menghitung perubahan volume ( $\Delta V$ ) pin yang terjadi dengan menggunakan persamaan Archad di bawah ini:

$$\Delta V = \frac{\Delta m}{\rho} \quad (3.4)$$

Maka specific wear rate  $K$  dapat dicari dengan rumus :

$$K = \frac{\Delta V}{F.L} \quad (3.5)$$



## BAB IV

### ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dibahas dan dianalisa hasil eksperimen tentang laju keausan dan umur hidup (*life time*) antara material alternatif yaitu nylon dan *Ultra high molecular weight polyethylene* (UHMWPE) dengan *stainless steel* AISI 316 yang diaplikasikan pada mesin pembuatan pasta.

#### 4.1. Data Hasil Eksperimen

##### 4.1.1 Data Hasil Penimbangan Sebelum Dan Sesudah Direndam

Sebelum dilakukan pengujian dengan menggunakan alat uji tribometer type pin on disk, langkah pertama yang dilakukan adalah merendam material *nylon* dan *Ultra high molecular weight polyethylene* (UHMWPE) dengan pasta gigi *pepsodent whitening*. Hal ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh pasta gigi terhadap material sebelum dilakukan pengujian. Sebelum dan sesudah direndam, material ditimbang dengan menggunakan timbangan digital. Berikut data hasil penimbangan material uji sebelum dan sesudah direndam:

**Tabel 4.1.** data hasil penimbangan sebelum dan sesudah direndam

no	Nylon			UHMWPE		
	m(gr) sebelum direndam	m(gr) setelah direndam	$\Delta m$ (gr)	m (gr) sebelum direndam	m( gr) setelah direndam	$\Delta$ (gr)
1	2.6974	2.6925	0.0049	2.1356	2.1304	0.0052
2	2.6988	2.6917	0.0071	2.135	2.1312	0.0038
3	2.6964	2.6886	0.0078	2.2603	2.2556	0.0047

##### 4.1.2 Data Perhitungan Eksperimen

###### 4.1.2.1 Nylon

Hasil dari pengujian laju keausan pada nylon dengan *Stainless Steel* AISI 316 dengan menggunakan pasta sebagai

pelumas (*paste lubrication*) bisa dilihat pada Tabel 4.2 dibawah ini.

**Tabel 4.2** Data perhitungan hasil pengujian *nylon* dengan *Stainless Steel* AISI 316 dengan menggunakan pasta sebagai pelumas (*paste lubrication*).

No.	Speed control	sliding speed v (m/s)	Time (minute)	Mo (gr)	Ma (gr)	$\Delta m$ (gr)	Sliding distance L (m)	$\rho$ (g/mm <sup>3</sup> )	Beban(kg)	F(N)	$\Delta volume$ (mm <sup>3</sup> )	k(mm <sup>3</sup> /Nm)
1	50	0.04	57.6	2.6925	2.6901	0.0024	700	0.00115	8	78.48	2.08696	0.000037989
2	60	0.0460	50.2	2.6917	2.6857	0.0060	700	0.00115	8	78.48	5.21739	0.000094972
3	70	0.054	42.62	2.6886	2.6776	0.0110	700	0.00115	8	78.48	9.56522	0.000174116

#### 4.1.2.2 *Ultra high molecular weight polyethylene (UHMWPE)*

Hasil dari pengujian laju keausan pada *Ultra high molecular weight polyethylene (UHMWPE)* dengan *Stainless Steel* AISI 316 dengan menggunakan pasta sebagai pelumas (*Paste Lubrication*) bisa dilihat pada Tabel 4.3 dibawah ini.

**Tabel 4.3** Data perhitungan hasil pengujian *UHMWPE* dengan *stainless steel* AISI 316 dengan menggunakan pasta sebagai pelumas (*paste lubrication*).

No.	Speed control	sliding speed	Time (minute)	Mo (gr)	Ma (gr)	$\Delta m$ (gr)	sliding distance L (m)	$\rho$ (g/mm <sup>3</sup> )	Beban(kg)	F(N)	$\Delta volume$ (mm <sup>3</sup> )	k(mm <sup>3</sup> /Nm)
1	50	0.040	57.6	2.1034	2.1027	0.0007	700	0.00095	8	78.48	0.74074	0.00001348
2	60	0.046	50.2	2.1350	2.134	0.0009	700	0.00095	8	78.48	0.952381	0.00001734
3	70	0.0540	42.62	2.2603	2.259	0.0013	700	0.00095	8	78.48	1.375661	0.00002504

## 4.2 Pembahasan Grafik

### 4.2.1 Nylon

#### 4.2.1.1 Analisa Pengaruh Kecepatan Terhadap *Specific Wear Rate* Dengan Pembebanan 8 Kg

Dari data yang ada, dapat dianalisa berapa nilai *specific wear rate* yang menunjukkan besarnya volume aus atau bagian yang terkikis setiap satu satuan gaya dan jarak. Besar kecepatan suatu material yang bergerak dan mengalami kontak mempengaruhi laju keausan spesifik (*specific wear rate*). Pada penelitian ini dilakukan 3 variasi kecepatan yaitu pada kecepatan

0,04 m/s (38,7 rpm), 0,046 m/s (44,4 rpm), dan 0,054 m/s (52,3 rpm). Berikut grafik hubungan kecepatan dengan *wear rate* dapat dilihat pada Gambar 4.1.



**Gambar 4.1** Grafik *specific wear rate* terhadap *speed* dengan pembebanan konstan 8 kg

Nilai *specific wear rate* terlihat semakin naik dengan semakin meningkatnya kecepatan yang diberikan. Pada grafik diatas tren grafik selalu naik dengan nilai kecepatan yang semakin tinggi. Perubahan nilai *specific wear rate* terlihat linear. Dimulai dari kecepatan 0,04m/s hingga kecepatan 0,054m/s tren grafik selalu naik, dan mendekati kondisi linier. Pada saat kecepatan 0,04m/s nilai *specific wear ratenya* adalah 0,000037989, pada kecepatan 0,046 m/s nilai *specific wear ratenya* bertambah lagi yaitu 0,000094972, dan semakin meningkat pada kecepatan 0,054m/s yaitu 0,000174116.

Secara teoritis, nilai *specific wear rate* akan semakin besar dengan semakin besarnya nilai kecepatan yang diberikan. Hal ini dikarenakan *nylon* yang diuji dengan kecepatan yang lebih tinggi akan lebih cepat mengalami peningkatan temperatur pada permukaan kontakannya, mempercepat gesekan yang terjadi pada pin, sehinggagerusan pada pin akan makincepat serta material menjadi lebih mudah terkikis.

Dari hasil pengujian *nylon* /dengan 3 variasi kecepatan diatas, hasil yang didapatkan sudah sesuai dengan teori yang ada.



Hal ini dapat terlihat dari grafik yang dihasilkan memiliki tren grafik yang semakin naik dan mendekati kondisi linier seiring dengan bertambahnya kecepatan yang diberikan. Pada kondisi operasinya, ketika nilai *specific wear rate* tinggi maka akan berpengaruh pada umur hidup (*life time*) material tersebut.

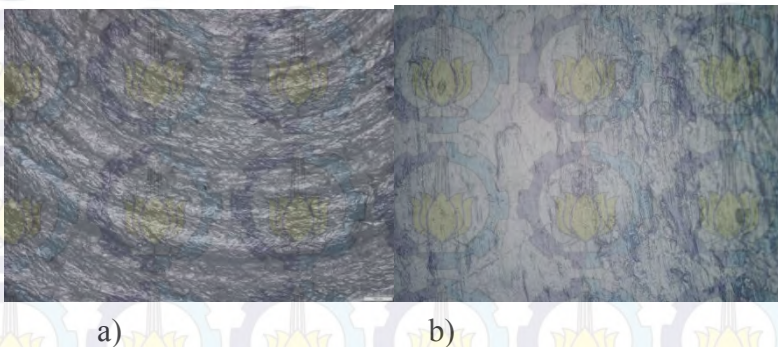
#### 4.2.1.2 Analisa Pengaruh Kecepatan Terhadap *Wear Volume* Dengan Pembebanan 8 Kg

Selain nilai *specific wear rate*, didapatkan pula nilai volume yang aus pada pengujian *nylon*. Volume yang aus pada material *nylon* terlihat cukup signifikan perubahannya. Dapat dilihat pada Tabel 4.2, pada kecepatan 0,04 m/s (38,7 rpm) material Nylon yang terkikis karena gesekan sebesar  $2,08696 \text{ mm}^3$ . Material Nylon yang terkikis semakin besar dengan semakin meningkatnya kecepatan yang diberikan. Volume yang terkikis pada kecepatan 0,046 m/s (44,4 rpm) sebesar  $5,21739 \text{ mm}^3$  dan pada kecepatan 0,054 m/s (52,3 rpm) sebesar  $9,56522 \text{ mm}^3$ . Peningkatan nilai volume yang aus ini juga dikarenakan cepatnya kenaikan temperatur akibat kecepatan yang semakin tinggi. Dapat dilihat pada gambar 4.2 dibawah ini.



**Gambar 4.2** Grafik *wear volume* terhadap *speed* dengan pembebanan konstan 8 kg

Dari grafik diatas terlihat bahwasannya nilai volume yang aus mengikuti nilai *specific wear rate* yang didapatkan. Dimana tren grafik selalu naik dengan semakin bertambahnya kecepatan yang diberikan. Hal ini dikarenakan material Nylon yang diuji dengan kecepatan yang lebih tinggi akan lebih cepat mengalami peningkatan temperatur pada permukaan kontakannya, mempercepat gesekan yang terjadi pada pin, sehingga gerusan pada pin akan makin cepat serta material menjadi lebih mudah terkikis dan volume material semakin mudah berkurang. Berikut ini adalah foto mikro Nylon dengan perbesaran 200 kali yang menunjukkan adanya perubahan permukaan pada saat sebelum dilakukan pengujian dan sesudah direndam serta setelah dilakukan pengujian dapat dilihat pada Gambar 4.3.



**Gambar 4.3** Foto mikro perbesaran 200X Nylon a) sebelum pengujian b) setelah direndam dengan pasta gigi *pepsodent whitening* selama 24 jam

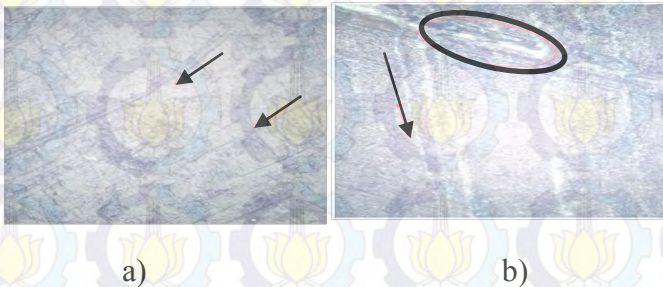
Pada foto mikro diatas terlihat ada perbedaan kontur permukaan pada saat sebelum dilakukan pengujian gambar 4.3 a) dan setelah direndam dengan pasta gigi *pepsodent whitening* selama 24 jam gambar 4.3 b). Terlihat ada beberapa bagian permukaan spesimen yang terkelupas setelah direndam. Hal ini diakibatkan karena adanya reaksi oksidasi antara zat yang terkandung pada *pepsodent whitening* dengan material Nylon.

Adanya reaksi oksidasi ini dinamakan korosi dan berpengaruh terhadap massa material. Hal ini dibenarkan karena setelah direndam, massa Nylon mengalami pengurangan. Hasil penimbangan massa Nylon sebelum dan sesudah direndam dapat dilihat pada tabel 4.1.

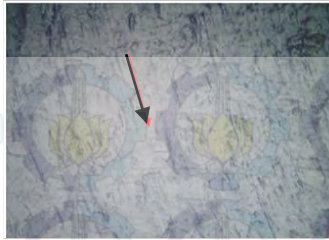
Terlihat pada tabel 4.1 bahwa perbedaan yang terjadi pada sebelum direndam dan sesudah direndam tidak begitu signifikan. Perbedaan yang tidak terlalu signifikan dikarenakan spesimen uji hanya direndam selama satu hari, jadi tidak terlalu jauh perbedaannya. Namun meskipun hanya satu hari, bisa dikatakan spesimen ini mengalami reaksi oksidasi (laju korosi) yang disebabkan oleh kandungan kimia pada *pepsodent whitening* ini. Dan dari hasil diatas bisa dikatakan bahwasannya pasta gigi ini berperan terhadap laju keausan yang terjadi pada spesimen uji ketika diaplikasikan pada mesin pembuatan pasta.

#### 4.2.1.3 Analisa Struktur Permukaan Setelah Percobaan

Berikut adalah foto struktur permukaan material *nylon* setelah percobaan bisa dilihat pada gambar 4.4 :







c)

**Gambar 4.4** Foto mikro perbesaran 200X Nylon pembebanan 8 kg setelah pengujian a) pada kecepatan 0,04m/s. b) pada kecepatan 0,046 m/s. c) pada kecepatan 0,055 m/s.

Pada gambar 4.4 a) terlihat foto mikro Nylon dengan pembebanan 8 kg dan kecepatan 0,04m/s setelah dilakukan pengujian dengan menggunakan pasta bahwa keausan yang terjadi diakibatkan oleh abrasif yang ditunjukkan dengan adanya guratan lurus seperti ditunjukkan pada Gambar 4.4 a) yang mengindikasikan bahwa material terkikis atau terabrasi. Hal ini disebabkan karena perbedaan nilai kekerasan antara 2 material uji yang saling kontak. Selain keausan abrasif, terlihat juga bahwa permukaan material sedikit terkelupas karena tergeser oleh material yang berkontak langsung dengan Nylon. Fenomena ini disebut dengan keausan adhesif. Terlihat juga ada pasta yang terjebak pada guratan-guratan akibat goresan. Material Nylon cenderung lebih lunak jika dibandingkan dengan material stainless steel AISI 316 yang memiliki nilai kekerasan yang lebih tinggi. Pada Gambar 4.4 juga terlihat banyak bintang-bintang kecil, bintang ini merupakan *wear debris* yang terjebak di dalam permukaan Nylon yang disebabkan pembebanan yang besar dan kecepatan yang tinggi sehingga *wear debris* menempel pada permukaan Nylon.

Pada gambar 4.4 b) terlihat bahwa keausan yang terjadi diakibatkan oleh abrasif yang ditunjukkan dengan adanya guratan lurus yang mengindikasikan bahwa material terkikis atau terabrasi.

Akan tetapi guratan yang terjadi jauh lebih lebar dan besar dibandingkan dengan pada saat kecepatan 0,04 m/s. Terlihat juga pada struktur permukaan, bahwa guratan yang terjadi sangat lebar dan seperti menyerap partikel-partikel yang terdapat pada material yang mengalami kontak langsung dengan Nylon. Peristiwa ini mengakibatkan material Nylon menjadi semakin lunak dan mudah terkikis. Selain dipengaruhi oleh partikel-partikel yang diserap oleh Nylon, cepatnya laju keausan atau terkikisnya permukaan material juga dipengaruhi oleh kecepatan yang lebih tinggi sehingga membuat benda semakin mudah untuk terkikis. Dari hasil foto mikro diatas bentuk kerusakan abrasif permukaan akibat keausan abrasive adalah berupa *Scratching*, dimana kerusakan *Scratching* ini diakibatkan karena adanya tekanan antara 2 material secara langsung dan mengakibatkan goresan.

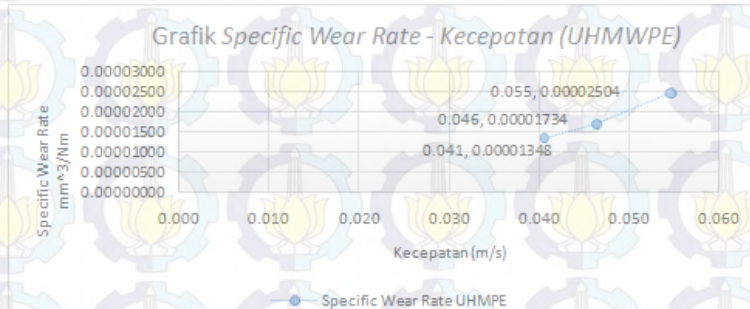
Pada gambar 4.4 c) terlihat bahwa kontur permukaan tidak memiliki keteraturan. Tampak terlihat terdapat mekanisme abrasif yang ditunjukkan dari guratan-guratan lurus namun terlihat juga bahwa pada permukaan material sedikit terkelupas karena tergeser oleh tekanan pembebanan yang berosilasi dan kecepatan yang tinggi. Penelitian ini dilakukan secara eksperimental pengambilan data secara langsung. Ketika penelitian dilakukan dengan pemberian beban, penekanan dari beban tersebut tidak dapat memberikan penekanan yang sempurna. Penekanan dari beban seharusnya terjadi secara konstan, namun pada kenyataannya penekanan beban yang terjadi mengalami osilasi. Fenomena ini bisa juga terjadi akibat material yang tak mampu menahan kecepatan tinggi, sehingga material mengalami *scratching* sekaligus pengelupasan. Guratan-guratan yang terjadi memiliki kontur yang lebih halus dibandingkan pada saat kecepatan 0,046m/s, dan yang lebih dominan adalah terkelupasnya permukaan material akibat tekanan dan kecepatan yang tinggi. Material Nylon cenderung lebih lunak jika dibandingkan dengan material stainless steel AISI 316 yang memiliki nilai kekerasan yang lebih tinggi. Pada Gambar 4.7 juga

terlihat banyak bintik-bintik kecil, bintik ini merupakan *wear debris* yang terjebak di dalam permukaan Nylon yang disebabkan pembebanan yang besar sehingga *wear debris* menempel pada permukaan Nylon.

#### 4.2.2 *Ultra high molecular weight polyethylene (UHMWPE)*

##### 4.2.2.1 Analisa Pengaruh Kecepatan Terhadap Specific Wear Rate Dengan Pembebanan 8 Kg

Dari data yang ada, dapat dianalisa berapa nilai *specific wear rate* yang menunjukkan besarnya volume aus atau bagian yang terkikis setiap satu satuan gaya dan jarak. Besar kecepatan suatu material yang bergerak dan mengalami kontak mempengaruhi laju keausan spesifik (*specific wear rate*). Pada penelitian ini dilakukan 3 variasi kecepatan yaitu pada kecepatan 0,04 m/s (38,7 rpm), 0,046 m/s (44,4 rpm), dan 0,054 m/s (52,3 rpm). Berikut grafik hubungan kecepatan dengan *wear rate* dapat dilihat pada Gambar 4.5.



**Gambar 4.5** Grafik *specific wear rate* terhadap *speed* dengan pembebanan konstan 8 kg

Nilai *specific wear rate* terlihat semakin naik dengan semakin meningkatnya kecepatan yang diberikan. Pada grafik diatas tren grafik selalu naik dengan nilai kecepatan yang semakin tinggi.



Perubahan nilai *specific wear rate* terlihat linear. Dimulai dari kecepatan 0,04 m/s hingga kecepatan 0,054 m/s tren grafik selalu naik, dan mendekati kondisi linier. Pada saat kecepatan 0,04 nilai *specific wear ratenya* adalah 0.00001348, pada kecepatan 0,046 m/s nilai *specific wear ratenya* bertambah lagi yaitu 0.00001734, dan semakin meningkat pada kecepatan 52,3 m/s yaitu 0.00002504.

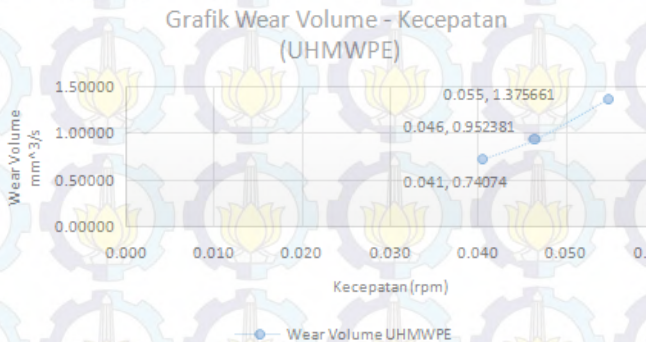
Secara teoritis, nilai *specific wear rate* akan semakin besar dengan semakin besarnya nilai kecepatan yang diberikan. Hal ini dikarenakan *Ultra high molecular weight polyethylene (UHMWPE)* yang diuji dengan kecepatan yang lebih tinggi akan lebih cepat mengalami peningkatan temperatur pada permukaan kontakannya, mempercepat gesekan yang terjadi pada pin, sehingga gerusan pada pin akan makin cepat serta material menjadi lebih mudah terkikis.

Dari hasil pengujian *Ultra high molecular weight polyethylene (UHMWPE)* dengan 3 variasi kecepatan diatas, hasil yang didapatkan sudah sesuai dengan teori yang ada. Hal ini dapat terlihat dari grafik yang dihasilkan memiliki tren grafik yang semakin naik dan mendekati kondisi linier seiring dengan bertambahnya kecepatan yang diberikan. Pada kondisi operasinya, ketika nilai *specific wear rate* tinggi maka akan berpengaruh pada umur hidup (*life time*) material tersebut.

#### **4.2.2.2 Analisa Pengaruh Kecepatan Terhadap Wear Volume Dengan Pembebanan 8 Kg**

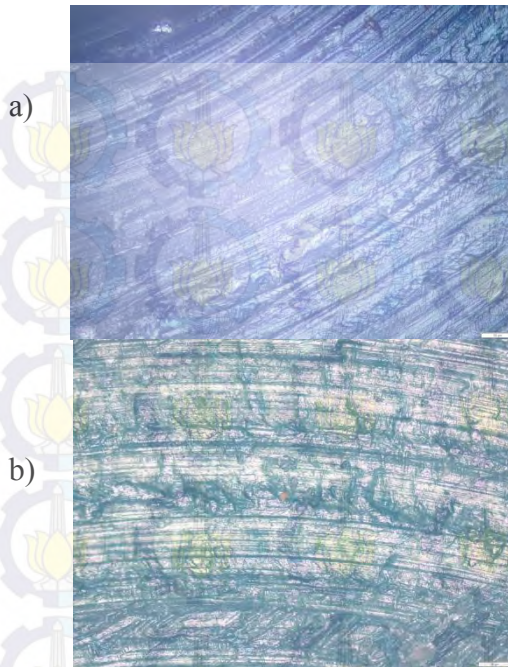
Selain nilai *specific wear rate*, didapatkan pula nilai volume yang aus pada pengujian *Ultra high molecular weight polyethylene (UHMWPE)*. Volume yang aus pada material *Ultra high molecular weight polyethylene (UHMWPE)* terlihat cukup signifikan perubahannya. Dapat dilihat pada Tabel 4.1, pada kecepatan 0,04 m/s (38,7 rpm) material UHMWPE yang terkikis karena gesekan sebesar 0.74074 mm<sup>3</sup>. Material UHMWPE yang terkikis semakin besar dengan semakin meningkatnya kecepatan yang diberikan. Volume yang terkikis pada kecepatan 0,046 m/s

(40 rpm) sebesar  $0.952381 \text{ mm}^3$  dan pada kecepatan 0,054 m/s sebesar  $1.375661 \text{ mm}^3$ . Peningkatan nilai volume yang aus ini juga dikarenakan cepatnya kenaikan temperatur akibat kecepatan yang semakin tinggi. Dapat dilihat pada gambar 4.6 dibawah ini.



**Gambar 4.6.** Grafik hubungan *wear volume* dengan variasi kecepatan pada pembebanan konstan 8 kg.

Dari grafik diatas terlihat bahwasannya nilai volume yang aus mengikuti nilai *specific wear rate* yang didapatkan. Dimana tren grafik selalu naik dengan semakin bertambahnya kecepatan yang diberikan. Hal ini dikarenakan material UHMWPE yang diuji dengan kecepatan yang lebih tinggi akan lebih cepat mengalami peningkatan temperatur pada permukaan kontakannya, mempercepat gesekan yang terjadi pada pin, sehingga gerusan pada pin akan makin cepat serta material menjadi lebih mudah terkikis dan volume material semakin mudah berkurang. Berikut ini adalah foto mikro UHMWPE dengan perbesaran 200 kali yang menunjukkan adanya perubahan permukaan pada saat sebelum dilakukan pengujian dan sesudah direndam serta setelah dilakukan pengujian dapat dilihat pada Gambar 4.8.



**Gambar 4.8** Foto mikro perbesaran 200X UHMWPE) a) sebelum perendaman; b) setelah direndam dengan pasta gigi Pepsodent Whitening selama 24 jam

Pada foto mikro diatas terlihat ada perbedaan kontur permukaan pada saat sebelum dilakukan pengujian gambar 4.8 a) dan setelah direndam dengan pasta gigi *pepsodent whitening* selama 24 jam gambar 4.8 b). Perbedaan kontur permukaan ini diakibatkan adanya reaksi oksidasi antara zat yang terkandung pada *pepsodent whitening* dengan material UHMWPE. Adanya reaksi oksidasi ini berpengaruh terhadap massa material. Hal ini dibenarkan karena setelah direndam, massa UHMWPE mengalami pengurangan.



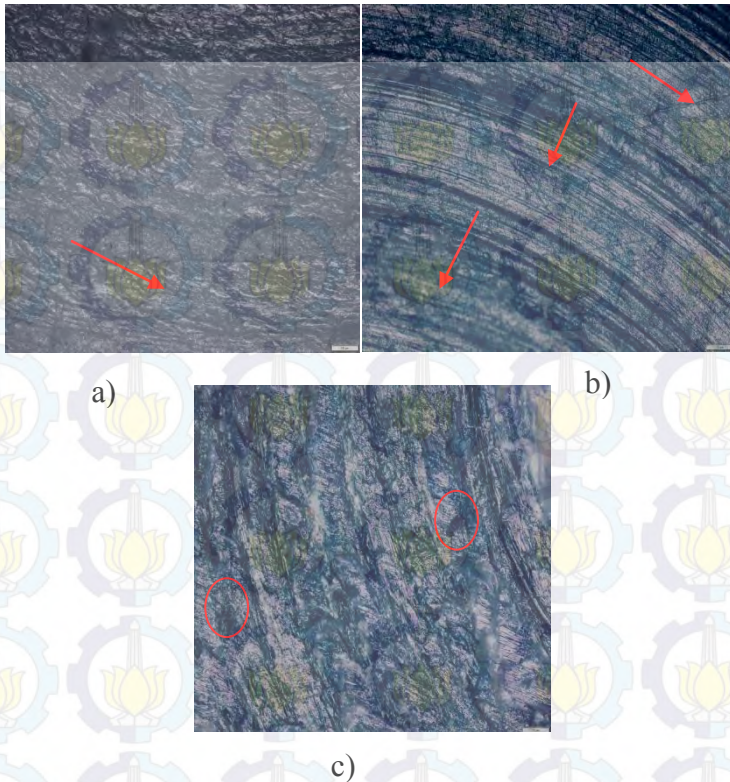
Pada proses perendaman, terjadi kontak langsung antara material *Ultra high molecular weight polyethylene (UHMWPE)* dan SS316 dengan pasta. Menempelnya pasta gigi terhadap material *Ultra high molecular weight polyethylene (UHMWPE)* lambat laun akan terjadi proses oksidasi antara zat-zat yang terkandung pada pasta *pepsodent whitening* terhadap material *Ultra high molecular weight polyethylene (UHMWPE)* yang lebih dikenal dengan keausan korosif. Pada prinsipnya mekanisme ini dimulai dengan adanya perubahan kimiawi material di bagian permukaan oleh faktor lingkungan. Kontak dengan lingkungan ini akan menghasilkan pembentukan lapisan pada permukaan dengan sifat yang berbeda dengan material induk. Sebagai konsekuensinya, material pada lapisan permukaan akan mengalami keausan yang berbeda. Hal ini selanjutnya mengarah kepada perpatahan interface antara lapisan permukaan dan material induk dan akhirnya seluruh lapisan permukaan itu akan tercabut.



**Gambar4.9**Ilustrasi skematis keausan oksidasi

#### **4.2.2.3 Analisa Struktur Permukaan Setelah Percobaan**

Berikut adalah foto struktur permukaan material *UHMWPE* setelah percobaan bisa dilihat pada gambar 4.10 :



**Gambar 4.10** Foto mikro perbesaran 200X UHMWPE pembebanan 8 kg setelah pengujian a) pada kecepatan 0,04m/s. b) pada kecepatan 0,046m/s. c) pada kecepatan 0,055m/s.

Pada gambar 4.10 a) terlihat terdapat mekanisme abrasif yang ditunjukkan dari guratan-guratan lurus namun terlihat juga bahwa pada permukaan material sedikit terkelupas karena tergeser oleh tekanan pembebanan yang berosilasi dan tergeser oleh material SS316 yang mengalami kontak langsung dengan UHMWPE. Penelitian ini dilakukan secara eksperimental pengambilan data secara langsung. Ketika penelitian dilakukan dengan pemberian beban, penekanan dari beban tersebut tidak

dapat memberikan penekanan yang sempurna. Penekanan dari beban seharusnya terjadi secara konstan, namun pada kenyataannya penekanan beban yang terjadi mengalami osilasi. Faktor lain yang mempengaruhi besar laju keausan adalah kecepatan yang semakin tinggi.

Pada gambar 4.10 b) terlihat dengan jelas bahwa mekanisme keausan yang terjadi akibat abrasive, hal ini ditunjukkan oleh garis panah merah permukaan UHMWPE yang memiliki guratan lurus yang mengindikasikan bahwa material tersebut terkikis. Pada kecepatan yang lebih tinggi yakni 0,046 m/s mekanisme keausan yang terjadi adalah abrasive. Terlihat setelah pengujian material terkikis dan tergerus akibat gesekan dengan Stainless Steel.

Pada gambar 4.10 c) terlihat bahwa kontur permukaan material UHMWPE setelah mengalami gesekan dengan *stainless steel* tidak memiliki keteraturan. Mekanisme keausan yang terjadi akibat abrasive ini ditunjukkan oleh guratan-guratan yang sejajar dengan garis merah. Guratan yang terjadi hampir merata pada seluruh permukaan UHMWPE ini diakibatkan oleh kecepatan yang tinggi pada saat pengujian. Secara teori, kecepatan yang tinggi bisa mempercepat laju keausan. Selain guratan-guratan yang diakibatkan oleh mekanisme keausan abrasif, terlihat juga bahwasannya struktur permukaan sedikit terkelupas akibat mengalami kontak dengan SS316 hal di tunjukan lingkaran merah. Peristiwa ini dinamakan mekanisme keausan adhesiv.

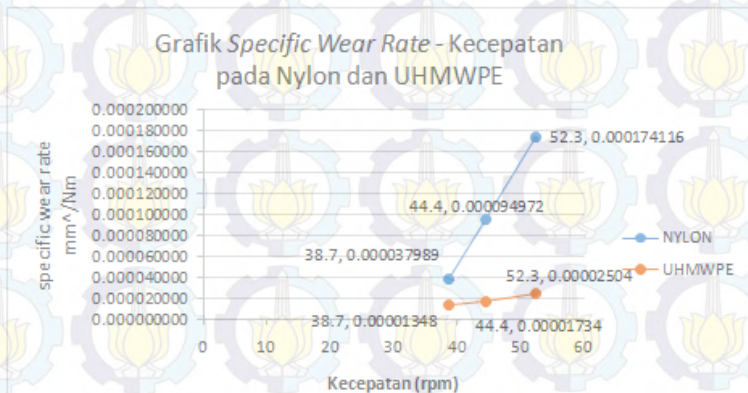
### **4.3 Grafik Perbandingan Antara Nylon Dan UHMWPE**

#### **4.3.1 Grafik Perbandingan *Specific Wear Rate* Antara Nylon Dan UHMWPE**

Dari data yang ada, dapat dianalisa perbandingan nilai *specific wear rate* yang menunjukkan besarnya volume aus atau bagian yang terkikis setiap satu satuan gaya dan jarak antara material *nylon* dan *Ultra high molecular weight polyethylene (UHMWPE)*. Besar kecepatan suatu material yang bergerak dan mengalami kontak mempengaruhi laju keausan spesifik (*specific*



*wear rate*). Pada penelitian ini dilakukan 3 variasi kecepatan yaitu pada kecepatan 0,04 m/s (38,7 rpm), 0,046 m/s (40 rpm), dan 0,054 m/s (52,3 rpm). Berikut grafik perbandingan nilai *specific wear rate* antara material *nylon* dan *Ultra high molecular weight polyethylene (UHMWPE)* dapat dilihat pada Gambar 4.11.



**Gambar 4.11** Grafik perbandingan nilai *specific wear rate* terhadap kecepatan antara material *nylon* dan *Ultra high molecular weight polyethylene (UHMWPE)*

Dari grafik diatas terlihat bahwa *specific wear rate* material *nylon* lebih tinggi dibandingkan dengan material *Ultra high molecular weight polyethylene (UHMWPE)* . Hal ini berarti bahwa material UHMWPE lebih baik dan lebih awet dibandingkan dengan material Nylon. Yaitu pada saat kecepatan 0,04 *specific wear rate* UHMWPE 3 kali lebih baik dibandingkan dengan material POM. Yaitu nilai *specific wear rate* pada Nylon  $0,000037989 \text{ mm}^3/\text{Nm}$  dan *specific wear rate* pada UHMWPE  $0,00001348 \text{ mm}^3/\text{Nm}$ . Pada saat kecepatan 0,046 *specific wear rate* UHMWPE hampir 4 kali lebih baik dibandingkan dengan material Nylon. Yaitu *specific wear rate* pada Nylon  $0,000094972 \text{ mm}^3/\text{Nm}$  dan *specific wear rate* pada UHMWPE

0,00002504  $\text{mm}^3/\text{Nm}$ . Dan pada saat kecepatan 52,3 *specific wear rate* UHMWPE 10 kali lebih baik dibandingkan dengan material Nylon. Yaitu nilai *specific wear rate* pada Nylon 0,000174116  $\text{mm}^3/\text{Nm}$  dan *specific wear rate* pada UHMWPE 0,00002504  $\text{mm}^3/\text{Nm}$ .

Secara teoritis, nilai *specific wear rate* akan semakin besar dengan semakin besarnya nilai kecepatan yang diberikan. Hal ini dikarenakan material yang diuji dengan kecepatan yang lebih tinggi akan lebih cepat mengalami peningkatan temperatur pada permukaan kontakannya, mempercepat gesekan yang terjadi pada pin, sehingga gerusan pada pin akan makin cepat serta material menjadi lebih mudah terkikis.

Dari hasil pengujian nylon dan *Ultra high molecular weight polyethylene (UHMWPE)* dengan 3 variasi kecepatan diatas, hasil yang didapatkan sudah sesuai dengan teori yang ada. Hal ini dapat terlihat dari grafik yang dihasilkan memiliki tren yang semakin naik seiring dengan bertambahnya kecepatan yang diberikan. Pada kondisi operasinya, ketika nilai *specific wear rate* tinggi maka akan berpengaruh pada umur hidup (*life time*) material tersebut. Dan dari grafik yang ada, dapat ditarik kesimpulan bahwa material *Ultra high molecular weight polyethylene (UHMWPE)* lebih baik dibandingkan material Nylon. Hal ini dikarenakan nilai *specific wear rate* UHMWPE lebih rendah dibandingkan dengan Nylon.

#### 4.4 Perhitungan Umur Hidup (*Life Time*) Material Uji

Pada eksperimen ini setelah dicari nilai laju keausan (*wear rate*), maka akan didapatkan umur hidup masing-masing material. Perhitungan Umur Hidup masing-masing material menggunakan rumus sebagai berikut:

$$T = \frac{L}{v} \quad (4.1)$$

T = umur hidup material sebenarnya  
 L = panjang lintasan (meter)  
 v = kecepatan pada saat pengujian

dimana untuk mencari nilai  $L$  dapat diperoleh dengan menggunakan rumus :

$$L = \frac{V \times H}{k \times W} \quad (4.2)$$

dimana untuk mencari nilai  $V$  menggunakan rumus :

$$V = Clearance \times A \quad (4.3)$$

dimana untuk mencari nilai  $v$  ( kecepatan saat pengujian didapat dengan persamaan ) menggunakan rumus

$$v = \pi \times d \times RPS \quad (4.4)$$

$d$  = diameter disk yaitu 0,1 m

$L$  = Panjang Lintasan (meter)

$V$  = Voume Batas Aus yang diijinkan ( $m^3$ )

$H$  = nilai kekerasan pada material (matweb.com)

$k$  = nilai laju keausan ( $mm^3/Nm$ ) ( sudah dijabarkan pada bab 3.6 )

$W$  = Berat pembebanan saat pengujian (80 N) ( sudah dijabarkan pada bab 2.6.2 )

$C$  = clearance yaitu 0,0001 m ( data didapat dari perusahaan )

$A$  = luas selimut tabung ( $m^2$ )

dimana untuk mencari nilai  $A$  menggunakan rumus

$$A = 2 \times \pi \times r \times t \quad (4.5)$$

Dimana

$r = 0,072$  m

$t = 0,105$  m

$\pi = 3.14$



Berdasarkan perumusan maka didapatkan hasil perhitungan yang ditampilkan dalam sebuah tabel dibawah ini :

**Tabel 4.4.** Hasil perhitungan umur hidup material *Nylon*

Speed	V (m <sup>3</sup> )	H	W (N)	k (m <sup>2</sup> /N)	L (m)	T (s)	T (bulan)	T (tahun)
38.7	4.74768E-06	40	80	4.E-11	6.E+04	3.E+05	7.142034884	0.595169574
44.4	4.74768E-06	40	80	9.E-11	2.E+04	1.E+05	2.490060811	0.207505068
52.3	4.74768E-06	40	80	2.E-10	1.E+04	5.E+04	1.153054406	0.096087867

**Tabel 4.5.** Hasil perhitungan umur hidup material *Ultra high molecular weight polyethylene (UHMWPE)*

Speed	V (m <sup>3</sup> )	H	W (N)	k (m <sup>2</sup> /N)	L (m)	T (s)	T (bulan)	T (tahun)
38.7	4.74768E-06	65	80	1.E-11	3.E+05	1.E+06	32.69809884	2.72484157
44.4	4.74768E-06	65	80	2.E-11	2.E+05	1.E+06	22.16695439	1.847246199
52.3	4.74768E-06	65	80	3.E-11	2.E+05	6.E+05	13.02826147	1.085688456

**Tabel 4.6** Hasil perhitungan umur hidup material *Polyoxymethylene (POM) / Poly Acetal*

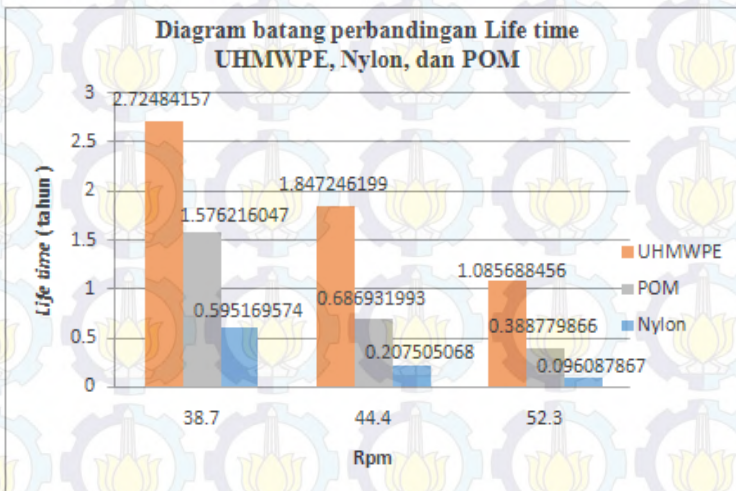
Speed (rpm)	V (m <sup>3</sup> )	H	W (N)	k (m <sup>2</sup> /N)	L (m)	t (s)	t (bulan)	t (tahun)
38,7	4,74768E-06	72	80	3,E-11	2,E+05	8,E+05	18,91459256	1,576216047
44,4	4,74768E-06	72	80	5,E-11	8,E+04	4,E+05	8,243183919	0,686931993
52,3	4,74768E-06	72	80	8,E-11	6,E+04	2,E+05	4,665358394	0,388779866

Tabel didapat dari pengujian yang dilakukan oleh Nazidatul Inayah dalam tugas akhirnya yang berjudul Studi eksperimen dan Analisa laju keausan (*Wear analysis*) *Journal bearing* lapisan pasta pada *rotary valve* mesin pembuat pasta

#### 4.5 Grafik perbandingan *life time* material UHMWPE, Nylon, dan POM.

Dari data yang ada dapat dianalisa perbandingan *life time* material antara material Nylon, *Ultra high molecular weight*

*polyethylene (UHMWPE)*, dan *Polyoxymethylene (POM) / Poly Acetal*. Besar kecepatan suatu material yang bergerak dan mengalami kontak mempengaruhi *life time*. Pada penelitian ini dilakukan 3 variasi kecepatan yaitu pada kecepatan 0,04 m/s (38,7 rpm), 0,046 m/s (40 rpm), dan 0,054 m/s (52,3 rpm). Berikut grafik perbandingan nilai *life time* antara material nylon, *Ultra high molecular weight polyethylene (UHMWPE)*, dan *Polyoxymethylene (POM) / Poly Acetal* dapat dilihat pada Gambar 4.12



**Gambar 4.12** Grafik perbandingan nilai *life time* terhadap kecepatan antara material nylon, *Ultra high molecular weight polyethylene (UHMWPE)* dan *Polyoxymethylene (POM) / Poly Acetal*

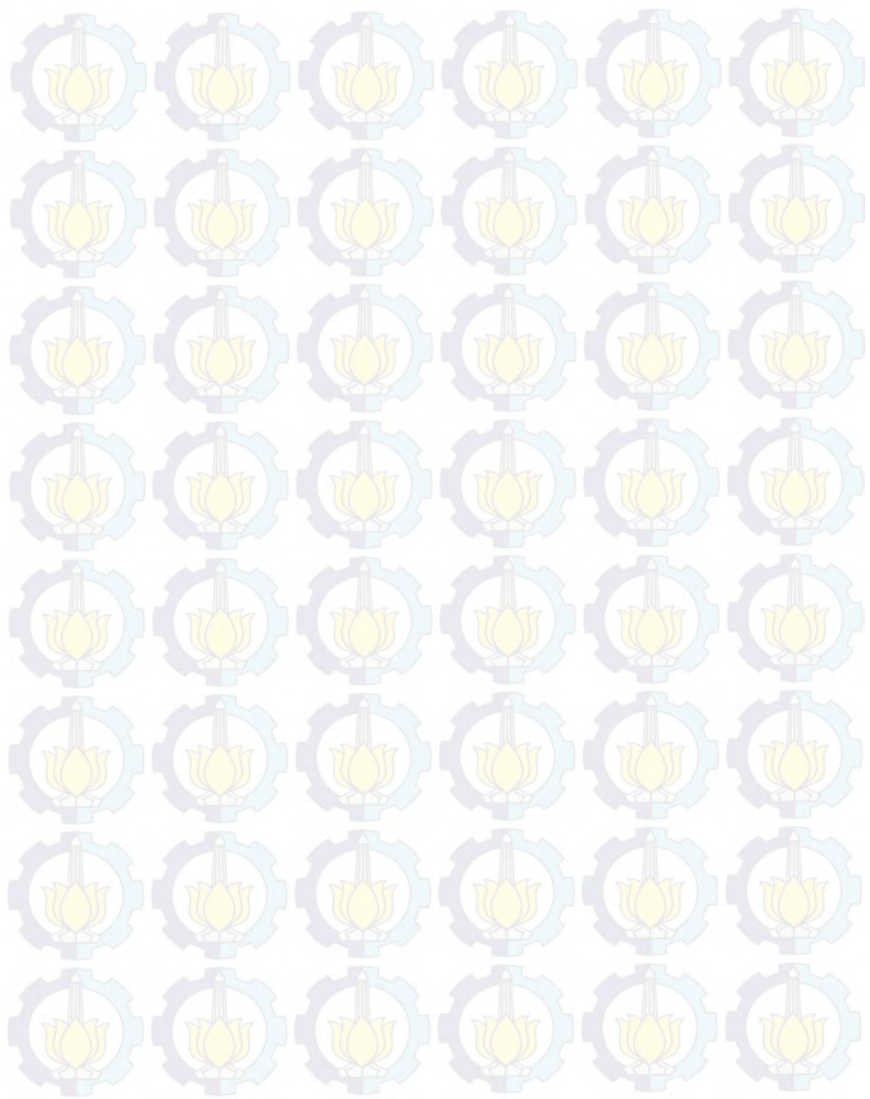
Dari grafik diatas terlihat bahwa *life time* material *Ultra high molecular weight polyethylene (UHMWPE)* lebih tinggi dibandingkan dengan material *Polyoxymethylene (POM) / Poly Acetal* dan material nylon . Yaitu pada rpm 38,7 *life time* material UHMWPE 1,8 x lebih baik dari material asli nya POM dengan

nilai UHMWPE 2,7 tahun sedangkan POM 1,5 tahun dan POM lebih baik 2,5x lebih baik dari *nylon* dengan nilai *nylon* 0,5 tahun. Pada rpm 44,4 UHMWPE 2,6x lebih baik dari POM dengan nilai 1,8 tahun sedangkan POM 0,6 tahun dan POM 3x lebih baik dari *nylon* dengan nilai *nylon* yaitu 0,2 tahun. Dan pada rpm 52,3 *life time* UHMWPE 3,6x lebih baik dari POM dengan nilai 1 tahun sedangkan nilai POM adalah 0,4 tahun dan POM 3x lebih baik dari Nylon dengan *life time* Nylon yaitu 0,1 tahun.

Dari hasil pengujian *nylon*, *Ultra high molecular weight polyethylene (UHMWPE)* dan *Polyoxymethylene (POM) / Poly Acetal* dengan 3 variasi kecepatan diatas, hasil yang didapatkan sudah sesuai dengan teori yang ada. Hal ini dapat terlihat dari grafik yang dihasilkan memiliki tren yang semakin turun seiring dengan bertambahnya kecepatan yang diberikan. Pada kondisi operasinya, ketika nilai *specific wear rate* tinggi maka akan berpengaruh pada umur hidup (*life time*) material tersebut. Dan dari grafik yang ada, dapat ditarik kesimpulan bahwa material *Ultra high molecular weight polyethylene (UHMWPE)* lebih baik dibandingkan material *Nylon* dan *Polyoxymethylene (POM) / Poly Acetal*. Hal ini dikarenakan nilai *life time* *Ultra high molecular weight polyethylene (UHMWPE)* lebih tinggi dibandingkan dengan *nylon* dan *Polyoxymethylene (POM) / Poly Acetal*.



*(halaman ini sengaja dikosongkan)*



## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Pada bagian ini dapat disimpulkan:

1. Nilai *specific wear rate* antara *Nylon* dengan *stainless steel* yang mengalami kontak akibat variasi kecepatan 38,7 rpm, 44,4 rpm, dan 52,3 rpm akan semakin naik , yaitu rata-rata sebesar  $4 \times 10^{-5} \text{mm}^3/\text{Nm}$ .
2. Nilai *specific wear rate* antara *Ultra high molecular weight polyethylene (UHMWPE)* dengan *stainless steel* yang mengalami kontak akibat variasi kecepatan 38,7 rpm, 44,4 rpm, dan 52,3 rpm akan semakin naik , yaitu rata-rata sebesar  $4,5 \times 10^{-5} \text{mm}^3/\text{Nm}$ .
3. Nilai *specific wear rate* antara *Ultra high molecular weight polyethylene (UHMWPE)* dengan *Stainless Steel* jauh lebih baik dibandingkan dengan Nilai *Specific Wear Rate* antara *Nylon* dengan *stainless steel*, yaitu pada saat kecepatan 38,7 rpm 3x lebih baik, pada kecepatan 44,4 rpm 4x lebih baik, dan pada kecepatan 52,3 rpm 10x lebih baik.
4. Mekanisme keausan yang terjadi pada material *Nylon* yang kontak dengan *stainless steel* didominasi mekanisme abrasif dan adhesif. Guratan pada permukaan *Nylon* mengindikasikan terjadinya abrasif dan material terkelupas mengindikasikan mekanisme adhesif.
5. Mekanisme keausan yang terjadi pada material *Ultra high molecular weight polyethylene (UHMWPE)* yang kontak dengan *stainless steel* didominasi mekanisme abrasif. Guratan pada permukaan *Ultra high molecular weight*

*polyethylene (UHMWPE)* mengindikasikan terjadinya abrasiv.

6. Umur hidup (*life time*) material *Ultra high molecular weight polyethylene (UHMWPE)* lebih panjang/awet dibandingkan dengan *Nylon*, yaitu pada saat kecepatan 38,7 rpm 4x lebih baik, pada kecepatan 44,4 rpm 9x lebih baik, dan pada kecepatan 52,3 rpm 12x lebih baik

## 5.2 Saran

Penelitian ini masih banyak memiliki kekurangan, oleh karena itu penulis mempunyai beberapa saran, yaitu:

1. Pada penelitian ini digunakan alat tribometer dengan gerakan gesekan searah, sehingga masih bisa dikembangkan penelitian laju keausan dengan arah gerak yang bolak-balik sehingga lebih menyerupai gerak jurnal bearing pada *rotary valve* yang sebenarnya.
2. Fotomikro yang digunakan untuk mengetahui kontur permukaan gesekan masih menggunakan foto mikro perbesaran 200 kali, jadi penelitian ini lebih bisa dimaksimalkan dengan melakukan uji Scanning Electron Michrosophy (SEM) agar hasilnya lebih akurat.



## DAFTAR PUSTAKA

Inayah, nazidatul 2015.Kaelani,Yusuf **Tugas Akhir : Studi Eksperimen dan Analisa Keausan ( Wear Analysis) Jurnal Bearing dengan Lapisan Pasta pada Rotary Valve Mesin Pembuat Pasta.** Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Prayogi, Tegar. Kaelani,Yusuf 2010. **Tugas Akhir : Rancang Bangun Tribometer Tipe Pin on Disk dan Studi Eksperimental Karakteristik Tribology Polimer-polimer.** Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Sholichin, moch. Kaelani,Yusuf 2012.**Tugas Akhir : Experimental Study Of Specific Wear Rate On Ultra High Molecular Weight Polyethylene (UHMWPE) With Stainless Steel On Artificial Knee Joints ( Total Knee Replacement Prosthesis) Human.** Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Cong.H, Liu.jun, Li.Sheng. Jia.Bin. 2006. Tribological Behaviors of Several Polymer–Polymer Sliding Combinations under Dry Friction and Oil Lubricated Conditions, **Wear** 262, 1353-1359

Abdelbary.A, Abouelwafa M.N, ElFahham IM, Hamdy A.H, 2012. The Effect of Surface Defects on the Wear of Nylon 66 under Dry and Water Lubricated Sliding, **Tribology International** 59, 163-169.

Adachi,Koshi.Kato.Koji.2001.**Modern Tribology Handbook: Wear Mechanism.** Jepang : Tohoku University

Anonim, 2015. **Kelebihan dan Kekurangan Material Teflon**,  
<URL:<http://www.pantonashare.com/4630.teflon.kelebihan.dan.kekurangannya.htm>>.

Ravichandran, sandhya 2007 . “Mitigating Osteolysis in Clinical Total Hip Arthroplasty : The Role of polyethylene Wear in Limiting the Life of Biomechanical Hip Implant Case, **Science Direct** 2, 2:25-26.

Sugison Plastics, 2015. **PE-UHMW / PE-1000 Ultra High Molecular Weight Polyethylene**, <  
URL:[http://sugison.com/div.eng/index.phppg=x\\_peuhmw&lg=id.htm](http://sugison.com/div.eng/index.phppg=x_peuhmw&lg=id.htm)>.

## BIODATA PENULIS



**Subhan Kemal Azhari** dilahirkan di Sungailiat, 30 April 1991 anak pertama yang terlahir dari orang tua terbaik bernama Rahman dan Hazuzara. Penulis memiliki seorang adik yaitu Idham Arif yang sudah lulus dari Amikom Yogyakarta. Penulis melanjutkan kuliah S-1 di ITS yang sebelumnya pernah kuliah di Politeknik Negeri Jakarta selama tiga tahun. TK Pertiwi Sungailiat adalah sekolah pertama yang dipilih penulis untuk mulai meniti pendidikannya. Setelah satu tahun, penulis melanjutkan ke SDN 10 Sungailiat. Kemudian melanjutkan pendidikan di SMP Negeri 2( 2003 – 2006 ) Sungailiat dan berikutnya di SMA Negeri 1 Sungailiat (2006 – 2009) dan Politeknik Negeri Jakarta jurusan Teknik Mesin program studi Alat Berat (2009 – 2012). Setelah itu penulis melanjutkan kuliah program lintas jalur di Teknik Mesin ITS. Di bangku kuliah politeknik penulis pernah menjadi panitia lomba alat berat seIndonesia pada tahun 2008. Di teknik mesin ITS ini penulis mendapatkan banyak sekali pengalaman, serta suka duka dalam melewati masa – perkuliahan, dan penulis tergabung dalam lab. Mekanika Benda Padat